
NEUROCIENCIA
& PSICOLOGÍA
SOMOS
NUESTRA
MEMORIA
Recordar y olvidar
Emilio García García

Somos nuestra memoria

Realización editorial: Bonalletra Alcompas, S. L.
Diseño e ilustración de cubierta: Pau Taverna
Diseño y maquetación: Kira Riera

ISBN: 978-84-471-1657-7 (obra completa)
978-84-471-1672-0 (volumen 1)
Depósito legal: B 27919-2018
Impreso en España

Servicio de atención al cliente (solo para España)
Para cualquier consulta relacionada con la obra:
Tel.: 900 842 421, de 9 a 19 h, de lunes a jueves; viernes de 9 a 16 h.
Fax: 93 814 15 69
Correo: C/ Amigó, 11, 5ª planta.
08021 Barcelona, España.
Web: www.salvat.com
E-mail de atención al cliente:
infosalvat@salvat.com

Departamento de suscripciones (solo para España)
Tel.: 900 842 840, de 9 a 19 h, de lunes a jueves; viernes de 9 a 16 h.
Fax: 93 814 15 69
Web: www.salvat.com

Distribución España
Logista Publicaciones
C/ Trigo 39, Polígono industrial Polvoranca
28914 Leganés (Madrid)

Distribución Argentina
Distribuidor en Cap y GBA: Distribuidora Rubbo
Río Limay 1600. C.A.B.A.
Tel.: 4303 6283 / 6285

Distribuidor en Interior
Distribuidora General de Publicaciones S.A.
Alvarado 2118 C.A.B.A
Tel.: (11) 4301-9970
E-mail: dgp@dgpsa.com.ar

Importador en Argentina
Distribuciones del Futuro S.A.
Paseo Colón 221 Piso 6, C1063AAC, C.A.B.A
Tel.: (11) 4301-3601
Horario atención: 9 a 17:30 h.
E-mail: ventas@brihet.com.ar
Web: www.brihet.com.ar

Importación y Distribución México
Distribuidora Intermex S.A. de C.V.
Lucio Blanco n. ° 435
Col. San Juan Tlihuaca
Azcapotzalco
CP 02400 Ciudad de México
Tel.: 52 30 95 00

Importación y Distribución Perú
PRUNI SAC
Av. Nicolás Ayllón 2925 Local 16A
El Agustino - Lima
e-mail: suscripcion@pruni.pe
Tel.: (511) 441-1008
Nota de los editores

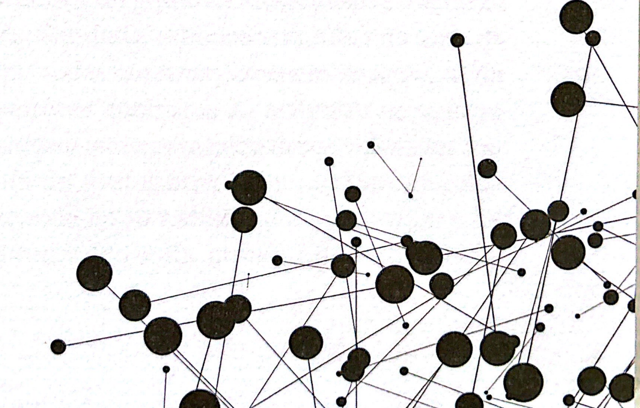
SOMOS NUESTRA MEMORIA

Recordar y olvidar

EMILIO GARCÍA GARCÍA

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN



Somos nuestra memoria, mejor dicho, nuestras memorias. Desde ellas y gracias a ellas percibimos, nos movemos, pensamos, hablamos, nos emocionamos y sentimos, planificamos y proyectamos. Ellas determinan nuestras decisiones e incluso definen nuestra identidad. Precisamente por su relevancia para nuestras existencias individuales, es necesario comprender su funcionamiento y naturaleza. Las preguntas que nos pueden servir de brújula son: ¿qué es nuestra memoria?, ¿por qué existe?, ¿dónde se encuentra?, ¿cómo funciona? Sin embargo, antes de comenzar a buscar las respuestas, conviene desechar la concepción tradicional de la memoria como una especie de grabación precisa de acontecimientos o datos concretos —no, nuestra memoria no es un disco duro que recoge nuestras experiencias— y verla, en cambio, como un complejo y frágil proceso cerebral que construye, almacena y recupera recuerdos en constante evolución.

Imaginemos por un momento que tenemos nueve años. Es el día de nuestro cumpleaños y un grupo de amigos asiste a la fiesta que hemos organizado. Sin duda, estamos viviendo una jornada emocionante, por lo que todas nuestras percepciones activan con especial intensidad patrones concretos de actividad en nuestro cerebro. El color del juguete que nos regalan desencadena un disparo neuronal. El sabor del pastel, otro. La desafortunada caída de un amigo y la contusión en su rodilla, unos cuantos más. La música que bailamos con coreografía, otros... Los impulsos que

transmite la red de neuronas receptoras de estos estímulos se irán reproduciendo una y otra vez en nuestro hipocampo —la parte del cerebro especializada en estas funciones de almacenaje— hasta que el circuito quede fijado. La asociación neuronal resultante representará el recuerdo de ese episodio en nuestra mente, será la huella mnemónica de nuestra fiesta del noveno cumpleaños. Porque las memorias son eso: redes neuronales, estrechamente interconectadas, interactivas a la vez que autónomas, parcialmente solapadas y muy distribuidas por todo el cerebro.

Si unas semanas más tarde volvemos a escuchar la canción que sonó en la fiesta, es posible que se desencadene toda una red de asociaciones que nos permita acceder al recuerdo no solo de la canción sino de la celebración en su conjunto. No obstante, seamos o no capaces de apreciarlo, ese recuerdo se está difuminando: algunos detalles que seguro que fueron percibidos en su momento no han quedado fijados, como por ejemplo el color del vestido que llevaba la madre de nuestro mejor amigo. El motivo por el que los recuerdos se van desdibujando es, sencillamente, que el sistema neuronal no tiene una capacidad ilimitada de almacenamiento, y sus diversos componentes son dinámicos, no estáticos, de modo que establecen entre sí variadas y entrecruzadas combinaciones a lo largo del tiempo. De manera que algunos de los sistemas neuronales que participaron en la elaboración de aquel recuerdo han abandonado esa red y se han concentrado en otra (todas las redes y los sistemas neuronales del cerebro almacenan algún tipo de información).

Aún hay más, nuestro recuerdo, además de irse difuminando, será cada vez menos fiel a la realidad: es posible que *a posteriori* vayamos añadiendo nuevas conexiones a la red original que lo modifiquen, quizá incorporando algún detalle procedente de otro episodio contemporáneo a aquel o modificando lo que

conservamos a partir de nuestra experiencia emocional. El recuerdo es plástico, no marmóreo. Quizá nos convenzamos de que ese día nos regalaron una pelota roja, sencillamente porque aparece en alguna de las imágenes de nuestro álbum de fotos de la infancia. La contaminación, el mestizaje entre recuerdos distintos es una experiencia habitual y tiene un fundamento neurobiológico: cuando se recupera una información guardada en la memoria, nuevamente se activan los procesos bioquímicos, por lo que, en cierto modo, cada vez que se reaviva un recuerdo se reconstruye biológicamente. Así es como nuestras memorias rehacen el pasado. Cuando revisitamos un recuerdo no nos limitamos a recuperarlo de modo objetivo y siempre igual, como quien saca una libreta de un cajón o abre una carpeta en el escritorio de su ordenador. Lo que experimentamos al rememorar es una acción en la que la estructura neuronal de la memoria modifica el recuerdo, el cual, por su mencionada plasticidad, va siendo moldeado a lo largo del tiempo en las diversas «revisitaciones». Precisamente, si un recuerdo es fijo y no se altera en lo más mínimo, a menudo se producen afecciones dolorosas, como obsesiones, fijaciones y demás lastres angustiosos.

Pero la memoria no solo sirve para revivir nuestra autobiografía. Si pensamos en la cantidad de funciones que tiene atribuidas, comprenderemos la necesidad de que esta no sea única: nuestra vida, por su misma complejidad multifacética, requiere de diversos sistemas de memoria. Los sistemas neuronales implicados en el aprendizaje y la memorización de las matemáticas o la historia, por ejemplo, son diferentes de los que permiten adquirir el lenguaje o aprobar el examen de conducir. La memoria que registra y elabora los conocimientos sobre el mundo natural o social es distinta de la memoria de nosotros mismos, de lo que hemos vivido como actores o espectadores en un momento y un

lugar determinados —como en el ejemplo del cumpleaños—, y de la memoria de los proyectos que tenemos para el futuro. Sus circuitos son diferentes, como lo son también las áreas cerebrales comprometidas en cada uno de estos sistemas.

En el presente libro abordaremos los diversos sistemas de memoria, su funcionamiento y las consecuencias de las alteraciones que pueden sufrir. En la primera parte analizaremos los distintos tipos de memorias. Primero hablaremos de la filogenética, que es aquella memoria propia de nuestra especie, que viene registrada en los genes de cada persona y que nos permite nacer sabiendo cómo parpadear o cómo mamar, por ejemplo. Es el origen de nuestra memoria personal, ya que el programa genético con el que nacemos se desarrolla en cada individuo en estrecha interacción con la estimulación ambiental, el medio físico y social, la cultura y la educación, y da lugar a las memorias singulares y específicas de cada uno de nosotros, que los investigadores han clasificado en dos grandes grupos: la memoria declarativa o explícita (aquella en que la consciencia está implicada en el proceso) y la procedimental o implícita (en la que la consciencia no participa).

Las memorias declarativas son recuerdos conscientes que se registran, recuperan y expresan gracias al lenguaje —de ahí su nombre—. Veremos que en ellas se distinguen dos tipos: episódica y semántica, que tienen en su base sistemas neuronales diferentes. En cambio, la memoria implícita o procedimental es la memoria de cómo se hace algo que no requiere atención consciente para la recuperación del recuerdo, como hablar, nadar, montar en bicicleta o conducir un coche. Este tipo de recuerdo se recupera directamente al ejecutar la acción.

Tras identificar estos y otros tipos de memoria que conviven en nuestra mente, habremos contestado al «¿qué es?» y al «¿por qué existe?» que planteábamos inicialmente. En el segundo capí-

tulo trataremos cuestiones del tipo «¿cómo funciona?» y «¿dónde se encuentra?»: analizaremos aspectos básicos de los mecanismos bioquímicos y anatómicos de la memoria, y veremos que esta, como el aprendizaje, se sustenta en los cambios de la fuerza sináptica.

Para comprender mejor cómo funciona la codificación, el almacenamiento y la recuperación de los recuerdos —activa y dinámica, no mecánica—, explicaremos también la memoria desde una perspectiva temporal: las memorias sensoriales o inmediatas, la memoria a corto plazo, dentro de la cual destaca la memoria de trabajo, y las memorias a largo plazo. Avancemos de entrada que las memorias sensoriales mantienen durante escasos segundos las impresiones procedentes de los diferentes sentidos; la memoria a corto plazo y la de trabajo retienen la información en torno a los veinte segundos, mientras que la memoria a largo plazo conserva la información durante largos periodos, y hasta toda la vida. Si volvemos al ejemplo de la fiesta de cumpleaños, la memoria sensorial es la que registra durante un segundo el color del vestido de la madre de nuestro mejor amigo; la memoria a corto plazo retiene menos de un minuto la información de que en breve traerán el pastel; la memoria de trabajo calcula cuántos invitados han venido finalmente; y la memoria a largo plazo conserva el recuerdo de nuestro amigo con la rodilla contusionada. Sin duda, al verlo herido, diversos estímulos sensoriales han coincidido en el tiempo repetidamente y han facilitado la transmisión nerviosa entre las neuronas que los representan. Estas neuronas, ahora ya asociadas, pasan a representar aquellos estímulos en forma de red o huella mnemónica. En el futuro, bastará con uno de esos estímulos sensoriales —una contusión similar en la rodilla— para evocar el recuerdo con mayor o menor fidelidad. Este ejemplo introduce otro aspecto fundamental: el impacto emocional de ver a nuestro amigo llorar ha reforzado ese recuerdo sobre otros de aquella celebración,

lo que nos indica la relevancia de las emociones en el funcionamiento de nuestras memorias.

En el último bloque del libro, se estudiarán las alteraciones y trastornos en las memorias en sus diferentes grados de gravedad: desde las propias del proceso de envejecimiento o los deterioros cognitivos leves hasta las preocupantes demencias y amnesias. Sin olvidarnos de aquellas alteraciones que han dado lugar a los fascinantes casos de personas con memorias extraordinarias.

Cerraremos el libro mirando al presente y al futuro. Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, particularmente internet, están planteando importantes retos a nuestras memorias. Se habla ya del «efecto Google», que consiste en la tendencia a no guardar en nuestra memoria las informaciones que fácilmente podemos encontrar en internet. Así, la información no se registra en nuestra memoria personal, biológica, neuronal, sino en la memoria externa, digital y artificial. Pero esta es muy distinta de la memoria individual: el cerebro digital absorbe la información y la recupera tal cual, y cuantas veces se quiera, mientras que, como hemos visto, el cerebro humano está continuamente reelaborando la información y reconstruyendo los recuerdos. Cuando traemos a la memoria de trabajo un recuerdo a largo plazo, se establecen nuevas conexiones, en un contexto de experiencia distinto y siempre novedoso. El cerebro que recuerda es siempre distinto al cerebro que elaboró los recuerdos anteriores. La memoria neuronal está continuamente renovándose.

«Todo en la vida es memoria salvo el delgado filo del presente.» Esta afirmación del neurocientífico Michel Gazzaniga quizá explique por qué los fascinantes procesos de la memoria son uno de los temas más ampliamente investigados en el ámbito de la neurociencia, además de ser el que más curiosidad despierta entre lectores de toda índole. Esperamos contribuir a saciarla con este volumen.

LAS MEMORIAS Y SUS CARACTERÍSTICAS



El cerebro se metamorfosea de forma continua; incesantemente, adquiere, almacena y recupera información sobre uno mismo y sobre el medio físico y social que le rodea. Sin descanso, todas nuestras áreas cerebrales registran informaciones, reescriben sus propios circuitos y regeneran las bases de la memoria, formadas todas ellas por diferentes redes neuronales interconectadas.

Efectivamente, la memoria es la propiedad esencial de todos los sistemas neuronales, pero eso no implica que sea de un solo tipo. Si se comparan las estructuras cerebrales implicadas en diversas tareas, se advierte que aprender matemáticas difiere bastante de aprender a leer o a montar a caballo. A partir de la experimentación con animales y del estudio de casos clínicos, en las últimas décadas los investigadores han confirmado que las memorias que nos permiten desarrollar cada una de estas actividades se procesan en circuitos diferenciados del cerebro y, aunque interactúan profusamente con el resto de los sistemas, pueden incluso existir disociadas. Un ejemplo cotidiano nos ayudará a entender que existen diferentes maneras de codificar, conservar y recuperar la cuantiosa información que recibimos cada día. Imaginemos que vemos escrita la palabra LEÓN. Podemos procesar este estímulo a un nivel superficial y meramente sensorial fijándonos en que está en mayúsculas. Pero supongamos que leemos la palabra en este contexto: LEÓN aparece escrito en un cartel que nos advierte de que hemos llegado ante el hogar

del animal en el zoológico. Sin duda, el estímulo en este caso recuperará un recuerdo adquirido en algún momento de nuestra vida que nos avisa del peligro potencial. También es posible que algunos, en función de su experiencia, acudan directamente a los grupos semánticos conservados en su memoria y lo relacionen con otros félidos que conocen. E incluso habrá quien recurra a su memoria autobiográfica y asocie el estímulo con su ya lejano viaje a África... En resumen, un mismo estímulo puede asociarse a diferentes tipos de memorias. En este capítulo repasaremos qué clases conocemos y por qué las necesitamos.

La memoria filogenética

Por extraño que parezca, nacemos ya con memoria, aunque no personal sino de la especie, la llamada memoria «filogenética», preservada en las áreas corticales sensoriales y motoras primarias. Estas áreas, con sus miles de millones de conexiones, han registrado la experiencia esencial de la especie en su interacción con el medio a lo largo de millones de años, y toda esta información, almacenada en los genes, ha posibilitado la supervivencia y adaptación al medio de los humanos.

A medida que ascendemos por la escala evolutiva, va aumentando la calidad y la cantidad de las conductas aprendidas e integradas en la memoria de especie. Así, ante las alteraciones del medio, los organismos con sistemas nerviosos más desarrollados han aprendido a modificar su comportamiento, a adquirir nuevos conocimientos y a utilizarlos de manera innata para responder adecuadamente a las exigencias del entorno. De todo ello podemos concluir que la función básica de la memoria filogenética es adaptativa.

La memoria de la experiencia de las especies puede llegar a ser muy sofisticada, como lo demuestran los estudios etológicos en peces, aves, mamíferos y hasta primates. En los animales más simples, como la ameba, se aprecian conductas innatas de carácter fisiológico que el ser humano ya ha superado por innecesarias. Un ejemplo sería el de las kinesias, que son respuestas de la ameba ante determinadas condiciones ambientales, como la humedad, el calor y la luz. Las taxias son otro tipo de respuestas filogenéticas de orientación, más elaboradas y eficaces, cuya función es la de aproximarse a —o evitar— determinados estímulos. Las taxias se dan sobre todo en los invertebrados inferiores, y parece que están presentes también en las complejas conductas de migración de cigüeñas, salmones, tortugas marinas y muchos otros animales que recorren cada año cientos de kilómetros siguiendo idénticas rutas y estrategias.

Además de las kinesias y las taxias, la memoria filogenética ha dotado a algunas especies de reflejos, es decir, de respuestas directas de un efector a la estimulación de un receptor. Una respuesta refleja —o arco reflejo— se caracteriza por una estructura neurofisiológica que comprende un receptor sensorial, una vía aferente o sensitiva, centros de conexión y una vía eferente o motora, y funciona de la siguiente manera: una estimulación del medio ambiente externo o interno es captada por los receptores sensoriales, transformándose en un proceso nervioso de excitación, que a través de vías aferentes llega al sistema nervioso; allí, mediante neuronas de conexión, enlaza con vías eferentes que conducen a los músculos o glándulas, que producen las respuestas. Los seres humanos tenemos cientos de reflejos, entre ellos el reflejo palpebral —pestañeo provocado por la brusca percepción de una amenaza—, el reflejo salivar, el ritmo cardiaco y los vómitos.

Continúa en la p. 22

Las claves de la conducta instintiva

Konrad Lorenz (1903-1989), Nikolaas Tinbergen (1907-1988) y Karl von Frisch (1886-1982) recibieron el Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1973, como representantes máximos de la etología, la ciencia que estudia el comportamiento de los animales, en condiciones naturales y de laboratorio. Los estudios etológicos suelen tener como cuestiones clave los procesos instintivos, los de aprendizaje y los sistemas de memoria de los animales, y fue en este campo donde las investigaciones de Lorenz y Tinbergen iluminaron las claves de la conducta instintiva.

En sus estudios, Tinbergen postuló la existencia de ciertos estímulos-clave que determinan la puesta en marcha de la conducta instintiva. Defendió que una reacción instintiva responde a tan solo unos pocos estímulos disociados del resto del entorno y, para demostrarlo, se dispuso a identificarlos en casos concretos. Para ello, empleó pruebas de simulacro, que consisten en descomponer las características o propiedades del estímulo y presentarlas en combinaciones variadas ante un individuo hasta averiguar cuál es el estímulo-clave que desencadena la respuesta. Así, por ejemplo, Tinbergen estudió minuciosamente la conducta agresiva del pez espinoso, y descubrió que el color rojo es el estímulo-clave que provoca la agresión. Durante los experimentos, el pez atacaba siempre a las maquetas con vientre rojo, aunque no tuvieran forma de pez, y, en cambio, se abstenía ante un simulacro perfecto de un pez si este carecía de un vientre rojo.

Sin embargo, la cuestión de los instintos en el ser humano es más compleja. Tinbergen consideraba instintivos ciertos tipos de comportamientos como la locomoción, el sueño, la búsqueda de alimento o el sexo, pero le resultaba más problemático hablar de instintos en las conductas sociales, influidas por la experiencia del entorno. Lorenz, por el contrario, defendía la existencia de mecanismos instintivos también en el comportamiento social, aunque tuvieran un componente de aprendizaje adquirido, entre los que incluía la agresividad, la sociabilidad y la territorialidad. A lo largo de su fecunda carrera científica, Lorenz sostuvo que una conducta social instintiva respondía a una mescolanza de preprogramación (innato) y aprendizaje (adquirido), y que era posible distinguir en un comportamiento sus componentes innatos y adquiridos, aunque coexistieran de manera indisociable.

Los estudios de Lorenz sobre troquelado –también llamado «impronta»– ponen de manifiesto la interacción estrecha entre memoria filogenética y memoria adquirida: el animal aprende aquello que ya está programado que debe aprender. El troquelado es la tendencia de ciertas especies a vincularse con un objeto, que en condiciones normales son los progenitores, y de manera especial la madre, con la cual ha entrado en contacto en un momento temprano del desarrollo. El fenómeno



Figura 1: La impronta. Descrita por Konrad Lorenz, la impronta se manifiesta en conductas innatas ejecutadas a raíz de estímulos aprendidos. Con el estudio sobre la conducta de los pollos de ganso que mostraron un apego instintivo hacia él, Lorenz profundizó en la interacción entre memoria filogenética y memoria adquirida.

de troquelado aparece preferentemente en las aves, que tienden a seguir al primer objeto móvil que encuentran al salir del huevo. En uno de sus experimentos, Lorenz incubó artificialmente huevos de ganso. Al romper la cáscara, los pollitos se encontraron con el científico, por lo que quedaron apegados a este como si se tratara de la madre biológica (son muy conocidas las fotografías de Lorenz paseando seguido de la pollada; véase la figura 1). Su investigación se recoge en el conocido trabajo *El compañero en el mundo de las aves*, de 1935.

Las intuiciones de Lorenz parecen haber sido confirmadas por las investigaciones de su discípulo y sucesor en el Instituto Max Planck, Irenäus Eibl-Eibesfeldt (nacido en 1928), sobre el comportamiento social en diversas culturas. En ellas se constataron preprogramaciones determinantes en las actitudes sociales del ser humano.

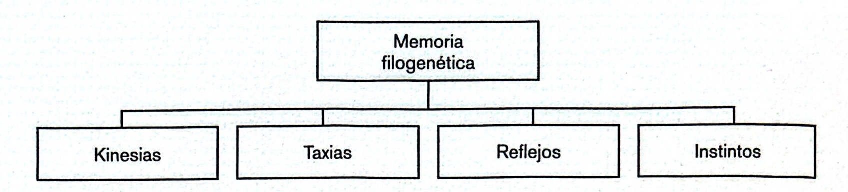


Figura 2: Tipos de memoria filogenética. De menor a mayor complejidad, de izquierda a derecha.

Acabamos el repaso a la memoria filogenética con los instintos, sistemas de respuestas de mayor complejidad que los reflejos (véase la figura 2). Son invariables en su modo de ejecución y compartidos por todos los miembros de una especie. Se desencadenan ante un cierto tipo de estímulos-signo, persisten hasta su consumación y tienen un sentido adaptativo. Calificar como heredada e innata la conducta instintiva no es del todo exacto, pues en muchos casos esas pautas fijas de acción están moduladas por la experiencia y el aprendizaje, mientras que lo innato es lo surgido y adquirido en el curso de la filogenia, gracias a las mutaciones y a la selección natural.

El papel de la conciencia: memorias explícita e implícita

Después de analizar por qué al nacer disponemos ya de una memoria, la filogenética, en las páginas que siguen veremos cómo a partir de esta se formarán nuestras memorias individuales, lo que conocemos como memoria a largo plazo, unos sistemas cerebrales que acumulan información durante extensos periodos que pueden prolongarse toda la vida. En este gran almacén memorístico

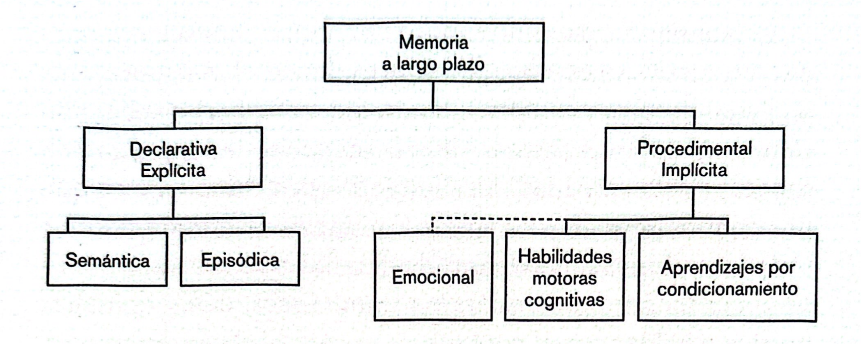


Figura 3: Esquema de las memorias a largo plazo. A partir de la memoria filogenética, y a través del aprendizaje, se formarán las memorias individuales, conocidas como memoria a largo plazo, y entre las que distinguimos la memoria declarativa o explícita y la memoria procedimental o implícita. A su vez, estos dos grandes grupos se subdividen en otros tipos de memoria: en la explícita se incluyen la memoria semántica y la episódica; en la implícita, la memoria de habilidades motoras y cognitivas, la de aprendizajes por condicionamiento y la memoria emocional, aunque hay quien considera que esta última está a caballo entre la memoria explícita y la implícita.

distinguimos entre memoria explícita y memoria implícita (véase la figura 3). La explícita, también denominada «declarativa» porque se expresa con el lenguaje, es el recuerdo consciente e intencionado de conceptos, datos o acontecimientos específicos. Si alguien nos pide que describamos lo que hemos hecho esta mañana desde que nos hemos levantado hasta que hemos llegado al trabajo, estaremos recurriendo a nuestra memoria explícita, lo mismo que si nos pregunta cuál es la capital de Francia.

En cambio, si se trata de la memoria inconsciente de una destreza, como la capacidad para hablar, nadar o montar en bicicleta, una memoria que no requiere atención al recuperarla y ejecutarla, estamos ante ejemplos de memoria implícita o procedimental. Esta se suele recuperar a través de la acción, de automatismos, más que en forma de recuerdos.

Con la repetición, una memoria explícita y consciente puede transformarse en implícita y procedimental. Así, por ejemplo, cuando estamos aprendiendo a conducir un coche, nos vemos obligados a prestar toda la atención de la que somos capaces a esta actividad. En cambio, desde el momento en que nos convertimos en un experto conductor, logramos circular sin pensar e incluso podemos dedicar los recursos atencionales y conscientes a otras tareas simultáneas, como escuchar música o hablar con el copiloto.

Esta distinción entre tipos de memorias conscientes e inconscientes tan extendida hoy era hasta hace relativamente poco desconocida. Fue el caso del paciente norteamericano Henry Molaison (1926-2008) —más conocido como H. M.—, seguramente el más famoso de la neurociencia en el siglo XX, el que marcó un auténtico punto de inflexión en la investigación de la memoria. Antes de la publicación de los estudios sobre H. M. (1962), imperaban las teorías sobre la memoria que había desarrollado, entre los años 1920 y 1951, el psicólogo estadounidense Karl Lashley, quien buscó los circuitos neuronales responsables del aprendizaje y la memoria en ratas que recorrían laberintos. Lashley suponía que los recuerdos podían hallarse en los circuitos perceptivos y motores necesarios para realizar el recorrido, por lo que creía que, al extirpar pequeñas porciones de estos circuitos, se interrumpirían las conexiones y se provocaría una amnesia. Sin embargo, diversos experimentos le demostraron que ni la extirpación de partes de los circuitos perceptivos ni el corte de conexiones llevaban a la pérdida de la memoria en las ratas estudiadas. Fue entonces cuando a Lashley se le ocurrió que quizá la alteración de la memoria dependía del tamaño de la lesión y no de la localización de esta, idea a partir de la que formuló la ley de «acción de masa», según la cual la gravedad de la pérdida de memoria

es proporcional a la masa de la corteza extirpada, pero no tiene relación con su localización específica: «No hay duda de que, una vez recordado el hábito de recorrer el laberinto, este no se localiza en ninguna zona determinada del cerebro, y la conservación de esa habilidad está condicionada por la cantidad de tejido que permanece intacto». Es decir, Lashley defendía que la función de la memoria era única e inseparable de las funciones perceptivas e intelectuales, y que ese único tipo de memoria se encontraba disperso por toda la corteza cerebral.

Solo dos años después, en 1953, el neurocirujano William Beecher Scoville (1906-1984), también norteamericano, cuestionó involuntariamente la ley de Lashley al realizar una operación quirúrgica al paciente H. M., que había sido atropellado por una bicicleta cuando tenía nueve años. El traumatismo craneoencefálico le había provocado fuertes ataques epilépticos que se agravaron con el tiempo, hasta el punto de sufrir cada semana más de diez ataques convulsos o ausencias y una grave crisis epiléptica. Cuando H. M. cumplió los veintisiete años, y dado el dramatismo de su situación, Scoville decidió practicarle una operación quirúrgica para extirpar determinadas estructuras cerebrales asociadas con el origen de las crisis epilépticas, concretamente el lóbulo temporal medio de ambos hemisferios, los córtex perihipocampal y entorrinal, la amígdala y la parte anterior del hipocampo. La cirugía alivió notablemente los ataques epilépticos, que casi desaparecieron, pero a un precio altísimo: tras la operación, H. M. era incapaz de almacenar nuevos recuerdos. Conservaba la inteligencia, la bondad y gracia que siempre le habían caracterizado, así como sus habilidades lingüísticas, pero no podía aprender ni recordar nada nuevo.

Disponía de los recuerdos anteriores a la cirugía, pero los nuevos le duraban tan solo unos pocos segundos. Por algún motivo

que Scoville desconocía, H. M. era incapaz de consolidar las memorias a corto plazo y convertirlas en memorias a largo plazo. Leía las mismas revistas una y otra vez sin que los contenidos le resultaran familiares, y sus reacciones emocionales ante los hechos podían ser intensas inicialmente, pero de escasa duración, ya que el incidente que las provocaba se olvidaba pronto. Así, por ejemplo, se mostró muy afectado cuando se le informó de la muerte de su tío, muy querido, pero pareció olvidarlo enseguida, y de vez en cuando preguntaba de nuevo por él. Cuando escuchaba una vez más la noticia de la muerte de su tío, mostraba los mismos síntomas de tristeza y pena. H. M. tan solo era capaz de conservar información nueva a través de la repetición verbal continua, pero el olvido se producía tan pronto como la repetición se veía interrumpida por algún estímulo nuevo que llamara su atención. También tenía graves problemas de memoria espacial: necesitó más de un año para aprender el camino a su nueva casa.

La neuropsicóloga Brenda Milner (nacida en 1918) se sumó algo más tarde al equipo de Scoville, y estudió la evolución de H. M. hasta la muerte de este. Aunque trabajó cerca de cuatro décadas con el paciente, cada día debía presentarse ante él como si fuera la primera vez que se veían. Durante mucho tiempo, Milner pensó que la amnesia de su paciente era total, porque recordemos que, siguiendo las teorías de Lashley, se consideraba que existía solo un tipo de memoria extendido por toda nuestra corteza cerebral. Sin embargo, en 1962 Milner realizó un descubrimiento fundamental con el que demostró la existencia de varios tipos de memorias: H. M. podía aprender y recordar a largo plazo un tipo concreto de acciones, por ejemplo, trazar una línea entre dos estrellas de cinco puntas, una dentro de la otra, mirando su mano y el papel en un espejo (véase la figura 4). Su destreza para hacerlo mejoraba con la práctica, como sucede con cualquier persona sana. Eso sí, aunque

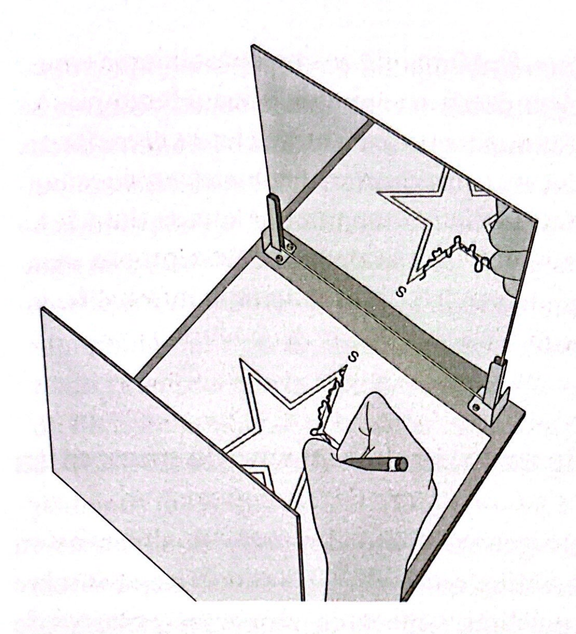


Figura 4: Test psicomotor de la estrella de cinco puntos. A pesar de su amnesia, Henry Molaison (el paciente H. M.) fue capaz de aprender esta tarea y de realizarla con gran destreza. Con esto se demostró que su memoria implícita o procedimental había quedado preservada.

cada día era más competente en la ejecución, se mantenía incapaz de recordar que había hecho esa misma tarea el día anterior.

Así fue como Milner aventuró que, además de la memoria consciente, en la que interviene el hipocampo, disponemos de otra memoria inconsciente, depositada en sistemas neuronales fuera del hipocampo y del lóbulo temporal. Es decir, descubrió que la memoria tiene funciones diferentes con bases cerebrales distintas. De ahí se extrajo la conclusión de que H. M. había sufrido una grave pérdida en la memoria declarativa mientras que había preservado la procedimental. Con sus estudios, Milner había establecido el sistema de diferentes memorias, y había confirmado que los circuitos de las funciones perceptivas y los de las memorias no están integrados, sino interconectados. No es necesario subrayar la enorme trascendencia de estos hallazgos de Brenda Milner, a quien algunos llaman la fundadora de la

neuropsicología. Milner, británica de nacimiento aunque en su edad adulta adquirió la doble nacionalidad canadiense, se ha mantenido activa en la investigación científica hasta cerca de sus cien años; el reconocimiento internacional por su decisivo impulso al conocimiento del cerebro, la memoria y la cognición le ha valido una veintena larga de doctorados *honoris causa*, en agradecimiento por haber abierto la puerta al estudio de los diferentes sistemas de memoria a largo plazo.

Tipos de memoria explícita I: la memoria semántica

Nuestro conocimiento general sobre el mundo se almacena en nuestra memoria semántica, que incluye los conocimientos sobre el significado de las palabras, conceptos, esquemas y marcos de referencia. También guardamos allí el conocimiento común sobre el mundo físico y social, y el propio de las ciencias naturales, sociales y formales.

Todo lo que sabemos sobre cualquier objeto, persona o acontecimiento se almacena en diferentes regiones de nuestro cerebro, donde ciertas investigaciones recientes han identificado mapas semánticos. De ahí que el procesamiento del significado de las palabras active redes neuronales muy complejas de diversas áreas cerebrales. En esta complejidad se ha identificado que términos con significados relacionados, pertenecientes a una misma categoría semántica —como «familia», «emociones», «lugares» o «números»—, comprometen las mismas áreas en diferentes individuos. Así, por ejemplo, palabras como *madre*, *esposa*, *hogar*, *padres* se relacionan con un aumento de la actividad en el área temporoparietal derecha. Parece que en diversos nodos (áreas corticales específicas que intervienen en cada categoría de

estímulos) se almacenan los diferentes tipos de información sobre un objeto concreto. Tomemos una manzana como ejemplo. Intuitivamente podríamos pensar que toda la información que tenemos sobre las manzanas se registra en una determinada área cerebral, pero la investigación clínica nos ha llevado a cuestionar este supuesto. Con los datos disponibles, podemos afirmar que su color, olor y sabor se registrarían en nodos distintos. A su vez, el nombre del tipo de manzana, una «reineta», lo haría en otro nodo, mientras que la idea de la manzana envenenada del cuento de Blancanieves, o el mito de la manzana que la serpiente ofrece a Eva en el Paraíso, se destinará a otros nodos. Metafóricamente, podemos decir que las características de un mismo objeto parecen estar separadas pero encadenadas en nuestra memoria, de tal manera que tirando de un eslabón de la cadena podemos traer a la memoria partes de una cadena más completa.

Una prueba de la existencia de mapas semánticos en diferentes puntos del cerebro la hallamos en los estudios comparados sobre pacientes con daño cerebral que presentan problemas para reconocer alguna categoría semántica concreta, como por ejemplo «animado-inanimado». En este caso, los pacientes que mostraban un déficit selectivo de reconocimiento de seres vivos presentaban algún tipo de lesión en los lóbulos temporales mediales, mientras que los que sufrían amnesia de objetos inanimados tenían localizado el daño en áreas frontoparietales.

Si subimos un peldaño más en el nivel de complejidad de los componentes de la memoria semántica, encontraremos que, además de las palabras, los conceptos y las categorías, esta también se sirve de esquemas, es decir, de bloques de conocimientos sobre el mundo físico y social, sobre acontecimientos y personas. En un estudio clásico sobre esquemas se pidió a los participantes que identificaran las acciones que son comunes cuando vamos a

El hallazgo de Bartlett: la representación mental del conocimiento

El psicólogo y filósofo británico Frederic Bartlett (1886-1969), precursor de la psicología cognitiva contemporánea, dio un paso de gigante en los estudios de la memoria en la década de 1930 al estudiar en grupos de control la manera en que las personas memorizamos y olvidamos. Bartlett se interesó por la antropología, la psicología social y la psicología experimental de la memoria, que se planteó estudiar en toda su complejidad y en situaciones de la vida cotidiana.

La tradición, que venía de comienzos del siglo xx, abanderada por el psicólogo Hermann Ebbinghaus, se centraba en experimentos muy controlados, pero que versaban sobre cuestiones limitadas y poco relevantes, como la capacidad de recordar sílabas sin significado (por ejemplo, *Bal*). El propio Ebbinghaus se aprendió hasta 169 listas de 13 sílabas sin significado cada una, y analizó el ritmo al que las iba olvidando. Consignaba los olvidos que se producían al repetir las listas al cabo de 20 minutos, al cabo de un día, al cabo de dos... hasta llegar a los 31 días. Concluyó que el volumen de información olvidada era alarmante el primer día pero disminuía a medida que pasaba el tiempo, y constató también que esa información olvidada quedaba en cualquier caso en una especie de latencia, pues meses más tarde resultaba relativamente fácil aprenderla de nuevo. El ejemplo clásico es el del idioma que recuperamos, sin tener que partir de cero, después de un tiempo sin emplearlo.

Pero a Bartlett le pareció que el estudio sobre el recuerdo de sílabas sin significado no nos aportaba información fiable sobre cómo opera nuestra memoria. De hecho, tomó el camino contrario: enfatizó la importancia del significado y de las redes de significado y acuñó el término *esquemas*, para designar las estructuras mentales que organizan nuestro conocimiento sobre el mundo. En uno de sus experimentos más conocidos, explicaba a un grupo de personas un relato popular norteamericano, «La guerra de los fantasmas», y les pedía que lo repitieran un cuarto de hora después, unos días después e incluso unos años después. La conclusión de estos estudios fue que las personas tendemos a racionalizar, a dotar de un significado concreto, las informaciones que memorizamos; las llevamos a nuestra zona de confort, a nuestra experiencia, a nuestros conocimientos. Por eso, cada miembro del grupo de control recordaba unos detalles concretos y no otros de la historia, priorizaba aquellos que se habían incorporado más fácilmente a alguno de sus «esquemas» semánticos.

comer a un restaurante. Aunque las experiencias en restaurantes son variadas, había acuerdos básicos. El 73 % de los participantes refería: sentarse, leer la carta, pedir el menú, comer, pagar y salir. Además, el 50 % incluía en ese esquema semántico entrar en el restaurante, comunicar la reserva, solicitar las bebidas, comentar la carta, pedir una ensalada o una sopa, comer el plato principal, pedir la carta para el postre, comerlo, pagar, dejar propina y salir.

Los esquemas de nuestra memoria contribuyen a hacer predecible el mundo que vemos, permiten tener expectativas acerca de acontecimientos futuros. Cuando los hechos se adecúan a las pautas de estos esquemas que tenemos acerca de la realidad física y social, cuando todo va «según los planes», lo damos todo por supuesto y no le prestamos demasida atención. En cambio, cuando los eventos no encajan en los guiones o marcos de nuestras expectativas, se graban con mayor fuerza en la memoria y se recuerdan con más intensidad. Sucede, por ejemplo, cuando un camarero derrama la copa de vino sobre mi traje nuevo. Esa idea no encaja en mi esquema de comer en un restaurante y a buen seguro que el recuerdo quedará fijado.

Asimismo, las experiencias contenidas en los esquemas permiten hacer inferencias y rellenar huecos cuando escuchamos una conversación o leemos un texto. Incluso facilitan la percepción visual de escenas de nuestro mundo. Finalmente, los esquemas también son clave para recordar datos, como lo demuestra el hecho de que recordemos mejor la información coherente con nuestros puntos de vista y nuestros campos de investigación.

Si los componentes de la memoria semántica se almacenan en áreas cerebrales diferentes a las de otro tipo de memoria, cabe suponer que pacientes con daño cerebral puedan presentar disociaciones entre estas y recuperen con mayor o menor facilidad las informaciones basadas en conceptos o en esquemas. Así ocurre

con personas que padecen amnesia o demencia semántica: tienen graves problemas para identificar objetos o acceder a significados de las palabras, pero sin embargo conservan estrategias y pautas para resolver problemas. No pueden, por ejemplo, distinguir un perro de un caballo, pero sí jugar a las cartas o al parchís. La clave está en las bases cerebrales de la memoria (véase el recuadro «Las bases cerebrales...», en la pág. 34): los pacientes que presentan problemas para acceder a un significado presentan lesiones en áreas temporales, mientras que las que sufren una disfunción en pautas de acción las tienen en áreas del lóbulo frontal.

Tipos de memoria explícita II: la memoria episódica

El siguiente gran grupo dentro de la memoria explícita lo integran las memorias episódicas, que constituyen la capacidad consciente de acordarse de experiencias específicas que de una manera u otra hemos experimentado personalmente en un lugar y un tiempo concretos, ya sea como testigos —el asesinato de Kennedy visto por televisión— o como protagonistas —la celebración de nuestra boda—. Nos permite responder a las preguntas «qué», «cómo», «dónde» y «cuándo», así como viajar mentalmente al pasado y revivir hechos. También nos ayuda a proyectar el futuro, anticipando proyectos y acontecimientos, como veremos al tratar la memoria prospectiva.

La capacidad para recordar sucesos, siempre contextualizados en un momento y lugar determinados, requiere unos sistemas neuronales que permitan codificar la experiencia específica, distinguiéndola de otras, y almacenarla de forma duradera. La efectividad con que se codifican, almacenan y recuperan esos

episodios concretos depende de que estos sean significativos y estén bien organizados.

La memoria episódica exige, como expuso el muy influyente neurocientífico canadiense Endel Tulving (nacido en 1927), conciencia personal de uno mismo y del tiempo subjetivo. De ahí la metáfora con la que Tulving equipara esta memoria con «viajar en el tiempo subjetivo», una capacidad exclusiva de los humanos, y que requiere de sistemas neuronales con un tiempo de desarrollo personal, lo que explica, como veremos a continuación, que los niños muy pequeños no dispongan de ella.

Alguien podría plantearse la utilidad de la memoria episódica: ¿se trata solo de un apego nostálgico a nuestras experiencias? No. Viajamos al pasado no solo para revivirlo sino, sobre todo, para construir y elaborar nuestra propia identidad. De ahí que algunos autores también hablen de la memoria episódica como de «memoria autobiográfica», aunque determinadas voces establecen diferencias entre ambas y consideran esta última más bien un subtipo de memoria episódica, distinguiendo así entre los sucesos más vinculados a la biografía individual y los simplemente testimoniados. En cualquier caso, la memoria autobiográfica almacena experiencias pasadas, pensamientos, sentimientos, motivaciones y deseos personales. Son recuerdos del yo y constituyen la base de la propia identidad, de lo que podemos deducir que este tipo de memoria tampoco es marmóreo y presenta características diferentes a lo largo del ciclo vital.

Solemos iniciar el relato de nuestra vida con la fecha de nuestro nacimiento, a pesar de que este no sea un recuerdo vivido, sino un dato que nos ha proporcionado nuestra familia. Los recuerdos de nuestra infancia hasta los tres o cuatro primeros años no son más que elaboraciones gestadas a partir de los relatos familiares,

Continúa en la p. 36

episodios concretos depende de que estos sean significativos y estén bien organizados.

La memoria episódica exige, como expuso el muy influyente neurocientífico canadiense Endel Tulving (nacido en 1927), conciencia personal de uno mismo y del tiempo subjetivo. De ahí la metáfora con la que Tulving equipara esta memoria con «viajar en el tiempo subjetivo», una capacidad exclusiva de los humanos, y que requiere de sistemas neuronales con un tiempo de desarrollo personal, lo que explica, como veremos a continuación, que los niños muy pequeños no dispongan de ella.

Alguien podría plantearse la utilidad de la memoria episódica: ¿se trata solo de un apego nostálgico a nuestras experiencias? No. Viajamos al pasado no solo para revivirlo sino, sobre todo, para construir y elaborar nuestra propia identidad. De ahí que algunos autores también hablen de la memoria episódica como de «memoria autobiográfica», aunque determinadas voces establecen diferencias entre ambas y consideran esta última más bien un subtipo de memoria episódica, distinguiendo así entre los sucesos más vinculados a la biografía individual y los simplemente testimoniados. En cualquier caso, la memoria autobiográfica almacena experiencias pasadas, pensamientos, sentimientos, motivaciones y deseos personales. Son recuerdos del yo y constituyen la base de la propia identidad, de lo que podemos deducir que este tipo de memoria tampoco es marmóreo y presenta características diferentes a lo largo del ciclo vital.

Solemos iniciar el relato de nuestra vida con la fecha de nuestro nacimiento, a pesar de que este no sea un recuerdo vivido, sino un dato que nos ha proporcionado nuestra familia. Los recuerdos de nuestra infancia hasta los tres o cuatro primeros años no son más que elaboraciones gestadas a partir de los relatos familiares,

Continúa en la p. 36

Las bases cerebrales de las memorias explícita e implícita

Desde los descubrimientos pioneros de Brenda Milner hasta la actualidad, los conocimientos sobre las bases cerebrales de las distintas memorias han avanzado espectacularmente gracias a la investigación experimental en animales, la investigación clínica con seres humanos, el análisis de los trastornos de las memorias relacionados con lesiones cerebrales específicas y los estudios con tecnologías de neuroimagen de personas sanas o afectadas por algún trastorno de memoria.

Como hemos visto en el caso del paciente H. M., el hipocampo, una parte del sistema límbico que se halla en la cara inferior del lóbulo temporal, desempeña un papel clave en la estabilización de la memoria explícita. Pero hay otras áreas cerebrales implicadas en los procesos de memorización declarativa: la amígdala, las cortezas entorrinal, parahipocampal y perirrinal, el bulbo olfativo y la corteza prefrontal son los sistemas más comprometidos. También se incluyen núcleos del tálamo que son centros de conexión entre la corteza temporal y la corteza prefrontal. Asimismo esta memoria recibe información del neocórtex, que le avisa de las consecuencias negativas o positivas de los estímulos, y del tronco encefálico.

En cambio, en la memoria implícita, los ganglios basales son fundamentales, pues a ellos se debe el carácter inconsciente de las respuestas. Estos ganglios son núcleos situados bajo la corteza cerebral con conexiones con toda la corteza y proyecciones de estas al tálamo y al córtex premotor pero que, en determinadas funciones, pueden no recibir retroalimentación de la corteza, como sucede durante los procesos de la memoria implícita. Los ganglios basales reciben también conexiones de la sustancia negra, una región del mesencéfalo responsable de la transmisión de neurotransmisores como la dopamina, necesaria para el adecuado funcionamiento de estos ganglios, y responsable de la automatización de la conducta.

El trastorno más común y más conocido derivado de un mal funcionamiento de los ganglios basales es la enfermedad de Parkinson. Los síntomas más reconocibles de este trastorno son los temblores en reposo, acompañados de rigidez muscular y pérdida de movimientos espontáneos. Estos enfermos sufren déficits en la memoria implícita, aunque por lo general conservan buena memoria para los sucesos y datos.

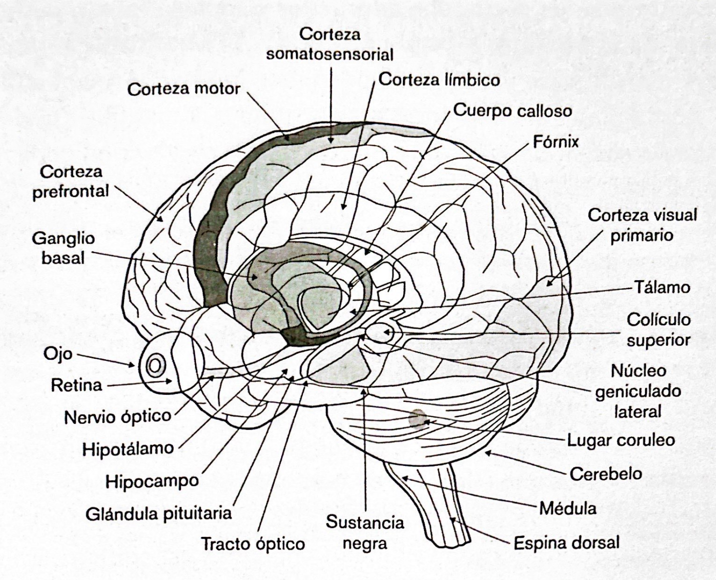


Figura 5: Estructuras corticales y subcorticales del cerebro.

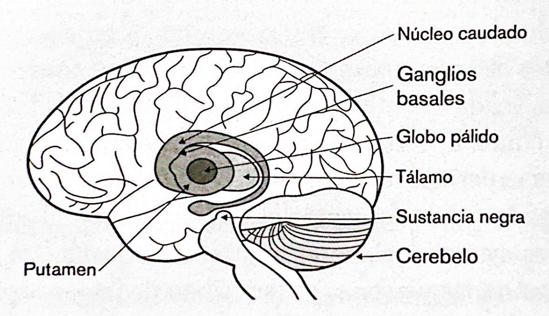


Figura 6: Bases cerebrales de la memoria implícita. Este tipo de memoria compromete especialmente los ganglios basales y las estructuras cerebrales relacionadas.

y suele tratarse de recuerdos adornados e incluso falsos, como veremos en el próximo capítulo en el caso de Jean Piaget. Como hemos mencionado ya, los más pequeños memorizan con muchas limitaciones sus vivencias y las olvidan fácilmente, es la denominada «amnesia infantil temprana». Esta se produce porque la memoria episódica implica de manera clave el lóbulo frontal y el lóbulo temporal medial, y en ella destaca la función crítica del hipocampo durante el proceso de codificación y consolidación de los recuerdos, tal como han demostrado los estudios neuropsicológicos de pacientes con lesiones cerebrales y han confirmado las investigaciones con neuroimagen en personas sanas. Ahora bien, el hipocampo no está suficientemente desarrollado ni interconectado durante la primera infancia, por lo que se considera que hasta los tres años de vida los humanos son incapaces de almacenar recuerdos a largo plazo, mientras que entre los tres y los ocho años recuerdan cada vez mejor episodios específicos. En el primer caso no es que los olviden *a posteriori*, es que simplemente aún no disponen de las herramientas para archivarlos.

A los ocho o nueve años, el hipocampo ya ha comenzado a madurar, y los niños empiezan a poder narrar con coherencia las experiencias vividas, contextualizadas con el quién, el dónde, el cuándo y el cómo. El desarrollo de la memoria autobiográfica depende de las experiencias compartidas en familia, especialmente con los padres. Los comentarios, las preguntas al niño y las explicaciones ayudan a elaborar la propia biografía. De los diez a los veinte años, las personas ya describen de forma lógica y estructurada su historia personal. Y a partir de esa edad, los jóvenes tienen que tomar decisiones más responsables y su autobiografía se torna más reflexiva, e incluye objetivos y metas, pensamientos, motivaciones y deseos. En la etapa adulta, las experiencias familiares y profesionales pasan a un primer plano, y a menudo

La pérdida de la memoria episódica. El caso de K. C.

Endel Tulving recogió el ilustrativo caso del paciente K. C., con amnesia de la memoria episódica incapaz de recordar experiencias personales. K. C. sufrió a la edad de treinta años un grave traumatismo craneal en un accidente de moto, con múltiples lesiones en varias regiones corticales y subcorticales, incluido el lóbulo temporal medio. A pesar de lo aparatoso del traumatismo, la mayor parte de las capacidades cognitivas quedaron intactas y resultaban indistinguibles de las de la mayoría de los adultos sanos. Su inteligencia y lenguaje se encontraban dentro de los parámetros normales: no presentaba problemas con la lectura ni con la escritura, los procesos de pensamiento eran claros, y podía tocar el órgano, jugar al ajedrez y a varios juegos de naipes, entre otras habilidades. Recordaba muchos de los datos objetivos relacionados con su vida, como la fecha de su nacimiento, la dirección de la casa en la que vivió los primeros nueve años de su vida, los nombres de algunas de las escuelas a las que asistió, la marca y el color del coche que tuvo, y el hecho de que sus padres tuvieran una casa de veraneo.

Sin embargo, la lesión del lóbulo temporal medio le provocó una amnesia grave para las experiencias personales: no podía recordar ningún hecho vivido, ya fuesen sucesos ocurridos una sola vez o en repetidas ocasiones. Su dificultad para recordar episodios o situaciones en las que estuvo presente le impedía «viajar en el tiempo» ni hacia el pasado ni hacia el futuro –la memoria prospectiva, como veremos, compromete las mismas áreas cerebrales que la episódica–; no podía especificar qué haría esa misma tarde, al día siguiente o el resto de su vida.

la mayoría de los recuerdos positivos de la vida se refieren a este periodo.

Cerramos aquí el bloque de las memorias que evocamos de manera consciente, las explícitas, y nos disponemos a adentramos en los mecanismos de los recuerdos que recuperamos a través de automatismos, esto es, en los caminos de la memoria implícita. El primero de los subsistemas de esta, la memoria emocional, se puede considerar, de hecho, una categoría de transición.

La memoria emocional, a caballo entre la explícita y la implícita

Hemos explicado que la memoria implícita o procedimental es automática, pues se recupera directamente al ejecutar la acción sin que intervenga la corteza cerebral. Poníamos como ejemplo el ir en bicicleta, algo que hacemos inconscientemente; es más, si nos paramos a pensar en lo que estamos haciendo, es posible que acabemos en el suelo. Ahora bien, ¿pasar miedo es una acción consciente o inconsciente?

Con esta pregunta entramos de lleno en el análisis de la memoria emocional, uno de los tipos de memoria implícita que se distinguen (véase la figura 3, en la pág. 23). Lo cierto es que no tenemos muy claro si la memoria emocional es una variedad de la implícita o bien es específica en sí misma y ocupa un lugar propio entre las memorias implícita y explícita. La memoria emocional, que incluye el miedo, las fobias y el pánico, por ejemplo, no solo es implícita (no implica únicamente procesos interiores, entrañados) sino que también tiene rasgos de explícita. Por eso, algunos autores sitúan este tipo de memoria a caballo entre ambas categorías. Podemos sentir miedo ante determinadas situaciones que identificamos conscientemente, pero también pasamos miedo en otras circunstancias en las que no somos conscientes de ello —por ejemplo, podemos tener un miedo inconsciente al compromiso. Asimismo, en el trastorno de pánico, las personas sienten una gran ansiedad, aun cuando no identifican la causa específica. La amígdala desempeña un papel clave en esta memoria. Al estudiar los efectos de las lesiones en esta se constata que los daños suelen suprimir la memoria emocional, pero, en cambio, tienen escaso efecto sobre otros tipos de memorias implícita y explícita. La amígdala está estrechamente conectada con estructuras

El recuerdo de las experiencias positivas y el de las negativas

Parece que las experiencias positivas se graban mejor en la memoria que las negativas, y que los recuerdos impregnados de alegría y satisfacción resultan más duraderos que las vivencias tristes. Si el cerebro y la memoria están al servicio de la vida, podemos interpretar como adaptativo ese sesgo hacia lo positivo.

Pero eso no significa que olvidemos con facilidad las experiencias tristes, las enfermedades, las pérdidas, los fracasos... Volvemos a ellas regularmente, y eso podría resultarnos más beneficioso de lo que pueda parecer a simple vista. Estudios sobre el ciclo vital de las personas plantean una correlación positiva entre la reflexión sobre la propia vida y la estabilidad emocional. En las situaciones de crisis sirve de ayuda repasar nuestro recorrido vital, volver a viajar al pasado, integrar las experiencias vividas en el presente, en resumen, explicarnos a nosotros mismos y a los demás nuestra autobiografía.

corticales temporales y con el resto de la corteza, y envía también proyecciones al hipotálamo —a través de las cuales influye sobre las respuestas neurovegetativas (o inconscientes, como la presión sanguínea o la dilatación de las pupilas) y hormonales— y a la sustancia gris del tronco encefálico. Sus conexiones con el córtex prefrontal le permiten valorar las consecuencias positivas o negativas de los estímulos y acontecimientos, por lo que la función central de la amígdala en las emociones se hace especialmente llamativa cuando se ha extirpado esta parte del cerebro (véase el recuadro «Síndrome Klüver-Bucy» en la pág. 40).

La emoción del miedo es fundamental para la supervivencia de las especies, que gracias a ella minimizan su exposición a animales, objetos o lugares peligrosos. La conciencia del peligro tiene un componente innato y otro aprendido, según ha identificado el neurocientífico Joseph LeDoux, especializado en el estudio del

Síndrome Klüver-Bucy

En 1939, el psicólogo experimental germano-estadounidense Heinrich Klüver (1897-1979) y el neurocirujano norteamericano Paul Bucy (1904-1992) descubrieron el síndrome que lleva su nombre. Identificaron un conjunto de síntomas que mostraban los monos tras extirparles la amígdala y las cortezas temporales, tales como una conducta indiscriminada de alimentación, por la que llegaban a comer alimentos que antes rechazaban; un incremento de la actividad autoerótica, homosexual y heterosexual, con elección inadecuada del objeto –intentaban, por ejemplo, copular con sillas–; una tendencia a reaccionar a todos los estímulos visuales... Pero el descubrimiento más sorprendente fue la pérdida de miedo: los mismos monos que habían presentado una aversión intensa a estímulos como la visión de serpientes ya no mostraban miedo ante ellas, es más, podían cogerlas vivas e incluso ponérselas en la boca. Sin la amígdala, estos animales no podían realizar las conexiones con el córtex prefrontal, implicado en el circuito que nos advierte de las consecuencias positivas o negativas de los impulsos.

El síndrome de Klüver-Bucy no es frecuente en los humanos porque las lobectomías temporales bilaterales son raras, aunque se pueden observar algunos síntomas de este mal en personas con una infección cerebral como la encefalitis. Así, en algunos casos de encefalitis los pacientes presentan, por ejemplo, conducta sexual indiscriminada y tendencia a explorar objetos con la boca. La función de la amígdala en el síndrome Klüver-Bucy confirma el papel central que esta ejerce en las emociones.

cerebro emocional. El componente innato es el procesamiento automático de la información sensorial relevante para la especie, por lo que la respuesta desencadena una reacción vegetativa (manos sudorosas, taquicardia...). En cambio, el componente aprendido del miedo consiste en evitar animales, lugares u objetos específicos que el organismo ha asociado con el riesgo. Pues bien, la lesión de la amígdala interfiere sobre ambos componentes: el individuo pierde tanto la capacidad de emitir tanto respuestas innatas como adquiridas.

Tipos de memoria implícita I: las habilidades motoras y las cognitivas

Como ya hemos anticipado, la forma paradigmática de la memoria implícita son todas aquellas destrezas motoras que se recuperan sin atención consciente, como conducir un coche, caminar o escribir con el teclado. Este tipo de habilidades se desarrollan a partir de las predisposiciones genéticas propias de la especie y de las capacidades congénitas de cada individuo. Aunque nacemos sin tener estas estructuras cerebrales plenamente desarrolladas, se cree que hacia los tres meses de vida ya están funcionando. Para el cerebro es realmente complicado aprender todas las destrezas motoras que necesitamos para vivir, así que no debe extrañarnos que la memoria de las habilidades motoras comprometa amplias regiones cerebrales, en buena parte diferentes de las implicadas en las memorias episódica y semántica.

En los primeros pasos del proceso de aprendizaje de cada una de estas destrezas se ven comprometidos sistemas neurales más corticales, pero con la práctica la memoria se desplaza a otros sistemas que se activan con mayor automatismo, sobre todo los ganglios basales, porque las habilidades motoras se adquieren poco a poco, y se perfeccionan practicando hasta alcanzar el automatismo. Es entonces cuando la ejecución se caracteriza por su velocidad y precisión y por requerir menos atención y control, como vimos con el ejemplo de la conducción.

En determinados casos, para el aprendizaje inicial de este tipo de memoria, se hace imprescindible la observación. No es fácil adquirir un hábito motor, como por ejemplo aprender a bailar el tango, a base de descripciones verbales; resulta más sencillo si observamos a las parejas bailar y después las imitamos. Aprender observando es una capacidad muy adaptativa, es

como aprender en cabeza ajena, observando lo que hacen otros y sus consecuencias. Así, somos más eficientes en los aprendizajes, ahorramos tiempo y evitamos consecuencias negativas y desagradables.

Aunque dentro de esta categoría de memoria implícita tienen mayor relevancia los hábitos motores, en ella también se incluyen habilidades cognitivas como el cálculo mental y las operaciones mentales repetitivas, en cuyo proceso se observa igualmente un desplazamiento de los sistemas neurales, al pasar de los sistemas más corticales y frontales durante el aprendizaje, a los ganglios basales y al cerebelo al entrar en la fase de automatismo.

Tipos de memoria implícita II: los aprendizajes por condicionamiento

El tipo más básico de memoria es uno del que ni tan solo somos conscientes —de ahí que se incluya entre las memorias implícitas— y sobre el que tenemos muy poco control. Recibe el nombre de memoria condicionada. Desde principios del siglo XX se han desarrollado dos programas de investigación sobre el aprendizaje que conlleva esta memoria: el condicionamiento clásico o pavloviano, y el condicionamiento operante basado en los estudios del filósofo y psicólogo conductista B. F. Skinner. Ha llegado la hora de conocerlos.

Para la supervivencia de todas las especies es básico saber responder a los estímulos distinguiendo los peligrosos de los inofensivos: aprender a reaccionar ante la estimulación ambiental según su implicación vital es una conquista adaptativa. Dentro de esta lógica, sin embargo, pueden darse algunas anomalías, como el fenómeno por el que un organismo aprende a responder

a estímulos neutros o débiles como si fueran dañinos. Se lo conoce con el nombre de «sensibilización». Lo ilustraremos con una situación propia de la vida cotidiana: cuando un ruido fuerte nos sobresalta, inmediatamente incrementamos la respuesta a otros estímulos del entorno que hasta entonces nos habían pasado desapercibidos. Como puede deducirse de este mismo ejemplo, la sensibilización no es permanente, sino que nuestro nivel de alerta se va debilitando hasta desaparecer si no vuelve a producirse el estímulo o si se presenta repetidas veces como inofensivo. Es lo que se conoce como «habituación». De este modo, si una persona vive en una calle ruidosa, al principio le resultará muy molesto, especialmente a la hora de dormir, pero con el tiempo se habituará y no percibirá tales molestias. Incluso si cambia de vivienda a un lugar silencioso, le llamará la atención la ausencia de ruido.

Habituación y sensibilización son tipos de conducta que, aunque implican procesos de memoria implícita, algunos investigadores no consideran formas de aprendizaje, por cuanto no son procesos asociativos, a diferencia del condicionamiento clásico, donde, como se verá a continuación, sí se da una asociación de estímulos, o del condicionamiento operante, donde la asociación se produce entre estímulos y respuestas. Sin embargo, otros autores sí las consideran formas primitivas y elementales de aprendizaje, pues son modificaciones de la conducta como resultado de la experiencia, aunque no estén al nivel del aprendizaje de los condicionamientos clásico y operante. En cualquier caso, quedémonos con la distinción entre aprendizaje no asociativo (sensibilización y habituación) y aprendizaje asociativo (los dos condicionamientos que veremos a continuación), y con la idea de que unos y otros siguen los mecanismos de la memoria implícita.

En el condicionamiento clásico (véase el recuadro «Condicionamiento clásico o pavloviano», en la pág. 45), el organismo es

capaz de responder a estímulos ambientales que presentan ciertas relaciones. Cuando a una persona le aplicamos, con un secador de pelo, una corriente de aire a los ojos, los cierra inmediatamente: se trata de una respuesta innata de protección ante una estimulación aversiva. Si repetimos la acción cierto número de veces, el sujeto tenderá a cerrar los ojos ante la sola visión del secador, aunque no esté en funcionamiento. Ha realizado un aprendizaje asociativo: un estímulo neutro que originalmente no provoca una respuesta determinada (solo llama la atención al ser percibido por el organismo) se asocia con un estímulo incondicionado que habitualmente suscita una respuesta concreta, hasta que la sola presencia del estímulo neutro, ahora ya condicionado, desencadena una respuesta similar a la que origina el estímulo incondicionado. Se cree que este tipo de respuestas condicionadas son controladas, al menos en parte, por el cerebelo.

Pero el organismo también puede relacionar determinadas acciones suyas con ciertas consecuencias positivas o negativas que les siguen. En este caso, lo que condiciona la acción no son los estímulos que la preceden, como ocurre en el condicionamiento clásico, sino las consecuencias que suceden. Este es el condicionamiento operante —un concepto acuñado por B. F. Skinner (1904-1990), en el sentido de que el organismo opera con su conducta sobre el medio—, que supone un paso más en la adaptabilidad del organismo, pues posibilita una mayor variedad en la conducta y, por tanto, facilidad para adaptarse a los cambios ambientales. Sería el caso de un alumno que estudia bien un tema y a ese comportamiento le siguen determinados efectos en su entorno: buena nota, felicitación del profesor, premio en la familia, etc. Así, la conducta de estudiar queda reforzada.

La variedad de asociaciones instrumentales en el modelo operante es asombrosa, ya que estamos continuamente aprendiendo

Condicionamiento clásico o pavloviano

El tipo de aprendizaje conocido como «condicionamiento clásico» fue estudiado inicialmente por el fisiólogo ruso Ivan P. Pavlov (1849-1936). Sus trabajos sobre el aprendizaje han proporcionado el marco para una cantidad ingente de investigaciones en todo el mundo. Ya hace años se estimaba en más de 7000 los experimentos realizados en el marco de este paradigma, y publicados en 29 idiomas. Por sus descubrimientos se le concedió el Premio Nobel de Fisiología y Medicina, en 1904.

En este libro analizaremos uno de sus experimentos más famosos. Mediante una operación quirúrgica efectuada en el carrillo de un perro, se conectaba un tubo desde la glándula salivar hasta el dispositivo mecánico que registraba la cantidad y velocidad de la secreción salivar. Al colocarse comida en la boca se producía la secreción. Evidentemente se trataba de un reflejo innato que nada tenía que ver con el aprendizaje; era una reacción natural, incondicionada, a un estímulo incondicionado como es el alimento en la boca del animal. Tal reflejo se explica por conexiones establecidas en el sistema nervioso y era una reacción común a todos los miembros de la especie. Pero lo sorprendente para un observador fino como Pavlov era que el perro no solo salivaba cuando tenía comida en la boca, sino que también lo hacía en otras muchas circunstancias o condiciones, por ejemplo, ante la sola visión de la comida, al ver al cuidador que le traía el alimento, al oír el ruido de la puerta que se abría, etcétera. En general, cuando ciertos estímulos precedían en algunas ocasiones a la comida en la boca, el perro salivaba ante la sola presencia de tal estímulo. Se trataba de unas reacciones que se daban en ciertas condiciones, de ahí el término *condicionado.*

Pavlov decidió estudiar los fenómenos observables con métodos objetivos. En los experimentos de Pavlov, se asociaba un estímulo sonoro –una campanilla– con la provisión de comida; al cabo de algunas sesiones, el animal ya presentaba reacciones fisiológicas anticipatorias de la comida, como la secreción de jugos gástricos, al oír el sonido, incluso en ausencia de comida.

la asociación entre nuestra conducta y sus consecuencias. Por tanto, es razonable que el aprendizaje instrumental no esté localizado en un circuito particular del encéfalo, pues los circuitos

que se necesitan varían según los requisitos de la tarea. Se trata de un descubrimiento relativamente reciente, porque el conocimiento sobre la posible ubicación de las funciones de la memoria en el cerebro ha experimentado un avance fundamental en las últimas décadas, como veremos a continuación, en el último epígrafe de este capítulo.

¿Cómo se distribuye la memoria en nuestro cerebro? Un nuevo paradigma

Las investigaciones sobre la memoria han dado un giro copernicano en poco tiempo. Podemos hablar incluso de un cambio de paradigma, pues ha pasado de las teorías modulares del cerebro a los modelos de redes neuronales, estrechamente interconectadas e interactivas, parcialmente coincidentes y solapadas, y muy distribuidas, sobre todo por la corteza cerebral, que es la base de las funciones cognitivas: percepción, memoria, atención, lenguaje, inteligencia. Se ha transitado además de unos modelos experimentales que pretendían localizar la memoria en áreas cerebrales muy concretas a otros que consideran la memoria como una propiedad de todas las redes y sistemas neuronales. En paralelo se ha descubierto que hay redes neuronales —nodos— específicas para diferentes tipos de memorias, a partir de lo cual se han propuesto modelos de arquitectura neuronal que recogen tanto las características de sistemas neurales interactivos y distribuidos por todo el cerebro, como las de dominios corticales más propios de memorias concretas.

El neurocientífico Joaquín Fuster (nacido en 1930) fue uno de los primeros en desafiar la idea de que los recuerdos y los conocimientos están alojados en distintos módulos cerebrales. Con

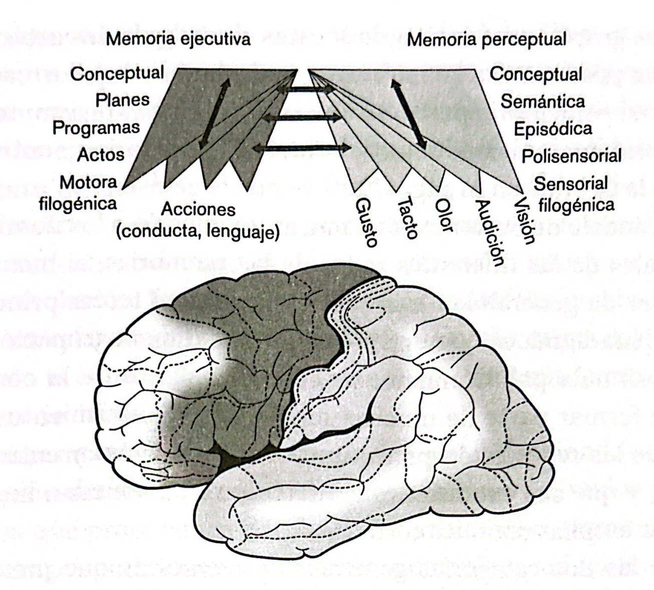


Figura 7: Esquema de la distribución jerárquica de los diversos tipos de memoria. A medida que nos van llegando las percepciones a través de los órganos de los sentidos a la memoria perceptiva (a la derecha del esquema), se analizan en la zona posterior de la corteza y van ascendiendo por la jerarquía de distribución de memorias, desde las más elementales hasta memorias cada vez más abstractas (en la cima hallaríamos la sabiduría). Lo mismo sucede con el sector motor o ejecutivo (izquierda): en este caso se analizan las acciones en la parte frontal y ascienden en función de su complejidad. Las flechas indican la conectividad bidireccional entre regiones corticales que sustentan memorias de categorías diversas.

sus estudios propuso que la memoria surgía de la gran red que es el cerebro y presentó un nuevo paradigma para explicar sus mecanismos. El primer principio de este paradigma pasa por recordar que las memorias son redes de neuronas interconectadas, formadas por enlaces sinápticos y distribuidas mayoritariamente por la corteza. El segundo principio establece un modelo jerárquico que organiza los diferentes tipos de memorias en dos

grandes grupos, en función de si estas son adquiridas preferentemente por las áreas que se encargan de guardar la información sensorial —memoria perceptiva—, o bien por las áreas motoras, responsables de la conducta, del «hacer» —memoria ejecutiva— (véase la figura 7 en la pág. 47).

El modelo de Fuster expone una aproximación a los dominios corticales de las diferentes redes de las memorias, si bien con carácter de generalidad e imprecisión, pues el tercer principio de su paradigma es que una sola neurona, o una agrupación de estas, situada prácticamente en cualquier punto de la corteza puede formar parte de muchas memorias y conocimientos. De ahí que las redes estén profusamente superpuestas y entrecruzadas, y que sus extensiones e interconexiones puedan llegar a ocupar amplias regiones corticales.

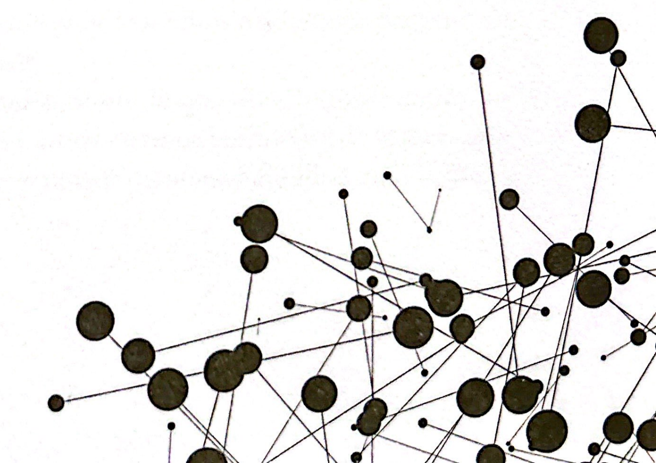
En las dos categorías generales de memorias que presupone su paradigma, la perceptiva y la ejecutiva, se han distinguido diferentes subtipos ordenados según un criterio jerárquico. Comencemos por las perceptivas: están repartidas principalmente, aunque no exclusivamente, por la parte posterior de la corteza (lóbulos temporal, parietal y occipital), e incluyen las experiencias sensoriales y todos los recuerdos y conocimientos adquiridos a partir de estas. En esta categoría, la jerarquía va desde lo sensorialmente concreto a lo conceptualmente general. Es decir, en la base encontramos las memorias de sensaciones elementales y la memoria sensorial filogenética, mientras que en la cima hallamos los conceptos abstractos, la sabiduría. Carecemos de estudios suficientes para confirmar la topografía del conocimiento intelectual, que es el nivel más alto de la jerarquía de la memoria perceptiva. No obstante, parece probable que este tipo de memorias presente una distribución más extensa y sus redes estén muy interconectadas entre sí, vertical y horizontalmente en la jerarquía.

La segunda categoría de memorias son las ejecutivas, el conocimiento y el recuerdo de acciones adquiridas por el organismo en su experiencia de actuar sobre el entorno físico y social. Las memorias ejecutivas están distribuidas sobre todo por las partes anteriores del cerebro, el córtex frontal. En el nivel inferior más básico reside la corteza motora primaria, encargada de coordinar los movimientos más simples, aquellos que son innatos y producto de la evolución. Es la memoria motora filogenética, y sobre ella se formarán las distintas memorias motoras y ejecutivas del individuo. En la cima hallaremos los planes de conducta, la creatividad y las decisiones.

Ambas memorias se retroalimentan en el denominado «ciclo percepción-acción», por el cual recibimos unos estímulos perceptivos que procesamos y fruto de los cuales ejecutamos unas acciones que modifican el entorno. Esos cambios producirán a su vez percepciones generadoras de nuevas acciones. Y así, incesantemente, es como funciona nuestro sistema nervioso.

Ahora bien, en cualquier momento de nuestro día a día, la mayor parte de nuestra memoria a largo plazo se encuentra en estado de latencia, fuera de la conciencia, pues, probablemente, los agregados neuronales de sus redes se encuentran ocupados en actividades espontáneas aleatorias. Una red de memoria se reaviva cuando se recupera por el recuerdo o el conocimiento: un estímulo o un grupo de estímulos, cuya representación cortical se ha convertido en parte de la red, reactivará esta representación y, por asociación, el resto de la red. Ni siquiera es necesario que los estímulos activadores ni la memoria activa sean plenamente conscientes. Ese mecanismo de codificación, almacenamiento y recuperación de la información es el que abordaremos en el próximo capítulo.

CÓMO FUNCIONA LA MEMORIA



Todas las experiencias y aprendizajes de nuestra vida, desde la conversación más banal hasta la observación atenta de una gran obra de arte, moldean nuestro cerebro. Estamos incesantemente esculpiéndolo, aun sin ser conscientes de ello. La singularidad de las vivencias incide de un modo tan específico en cada cerebro particular que podemos decir no solo que todo cerebro es único, sino que además lo es cada segundo de su existencia. Al fenómeno de continua modificación neuronal, ya sea mediante el reforzamiento, el debilitamiento o la eliminación de conexiones existentes, de la generación de nuevas conexiones —sinaptogénesis—, o de la generación de nuevas neuronas —neurogénesis—, se lo conoce como «plasticidad neuronal». Se trata de un proceso básico para el buen funcionamiento de la memoria, entendida esta como la capacidad del sistema nervioso de los organismos para codificar, almacenar y recuperar los numerosos estímulos moldeadores que recibimos. De ahí que la investigación científica para descubrir los mecanismos subyacentes de la memoria tenga sus orígenes en el hallazgo de las sinapsis.

En este capítulo, analizaremos lo que se sabe sobre cómo codificamos los estímulos y almacenamos las huellas de la memoria para poder evocarlas, con mayor o menor fiabilidad, más tarde.

Neuroplasticidad y memoria

La hipótesis sobre el papel central de la plasticidad neuronal en los mecanismos del aprendizaje la adelantó Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) a finales del siglo XIX: expuso entonces que las modificaciones que se producían en las sinapsis eran la base de los aprendizajes y las memorias. Cajal estudiaba el sistema nervioso de distintas especies tras haber perfeccionado el método de Golgi, que permitía visualizar el tejido nervioso al teñirlo con nitrato de plata, cuando sus descubrimientos lo llevaron a postular en 1894 la «teoría de la neurona», con la que estableció la unidad orgánica, estructural y funcional de las células del sistema nervioso. Con esta teoría se desmarcaba de los trabajos del médico italiano que había ideado el método de tinción citado, Camillo Golgi (1843-1926), quien consideraba que el sistema nervioso estaba integrado por un tejido de células contiguas que formaban una retícula continua. Para Cajal, en cambio, las células eran contiguas pero no integraban un tejido continuo, sino que la conexión entre neuronas se producía a través de unos mediadores químicos. Tres años más tarde, en 1897, Charles Scott Sherrington llamaría a esta interconexión neuronal «sinapsis».

Cajal había tenido una intuición brillante al afirmar que la memoria podría estar sustentada por cambios funcionales dentro de las sinapsis. En los ciento treinta años transcurridos desde la formulación de su hipótesis, las investigaciones sobre neuroplasticidad han reportado conocimientos impresionantes en esta línea gracias a los estudios sobre organismos muy diferentes. En 1949, el biopsicólogo Donald Hebb (1904-1985) hizo la segunda contribución transcendental al publicar *La organización de la conducta*, investigación fundamental que establece las bases neurales del aprendizaje y de la memoria, tal como apuntaba Cajal, e introduce

una serie de conceptos nuevos que, con ligeras modificaciones, aún continúan vigentes. Expondremos las teorías de Hebb junto con las del filósofo Friedrich Hayek (1899-1992), quien solo tres años más tarde daba a conocer *El orden sensorial*, otra obra clave sobre la formación de redes neuronales en la corteza cerebral. Basándose en lo que sabían sobre neurofisiología cortical y neuroanatomía, cuyos fundamentos habían asentado Cajal y sus discípulos, Hebb y Hayek propusieron lo que consideraban el principio básico de la formación de la memoria: tras un estímulo provocado por una percepción o una experiencia se producen cambios químicos en la neurona, que se excita más cuando esos estímulos coinciden en el tiempo repetidamente. Esta mayor excitación provocada por la intensidad y la coincidencia temporal de los estímulos facilita la transmisión nerviosa entre las neuronas interconectadas, de tal manera que llegan a interpretarlos como hechos asociados en forma de «engrama» o estructura de interconexión neuronal estable, también conocida como «huella mnemónica». Además de explicar cómo se crean las huellas de la memoria, ambos autores descubrieron la manera en que podía recuperarse un recuerdo almacenado: cuando dos estímulos llegan simultáneamente por vías separadas a una neurona producen cambios sinápticos en su membrana, unas modificaciones que facilitarán la transmisión de impulsos a través de la misma. El hallazgo novedoso fue que, en el futuro, uno de esos estímulos por sí solo, sin necesidad de la presencia del otro, será capaz de excitar a la neurona y activar nuevamente la red neuronal de esa huella mnemónica.

En el marco de la línea de investigación confirmada por Hebb y Hayek, que apuntaba al sistema nervioso como base del aprendizaje y la memoria, se iniciaron numerosos experimentos para investigar los efectos de la experiencia sobre el cerebro y la conducta.

Continúa en la p. 58

Cómo se generan las sinapsis

Las neuronas son las unidades funcionales que nos permiten recibir información, procesarla y actuar, aprender y memorizar. No es tarea fácil explicar cómo los cien mil millones de neuronas de que disponemos los adultos, cooperando y estableciendo conexiones, originan los procesos mentales y el comportamiento del ser humano, pero si se investiga cómo funciona una neurona tipo, se podrán obtener conocimientos generalizables. No obstante, antes deberemos saber cuáles son sus componentes básicos. Las tres partes básicas de una neurona son el soma o cuerpo celular, las dendritas y el axón. El área dendrítica presenta numerosas protuberancias, llamadas «espinas dendríticas». Una neurona puede tener hasta veinte dendritas, cada una de las cuales puede contener varias ramas, y la cantidad de espinas de las ramas puede ser del orden de muchos miles. A su vez, los axones son prolongaciones, a modo de largos cables, que alcanzan el cuerpo o las prolongaciones de otras neuronas.

Las neuronas trabajan juntas en grupos o redes para producir determinadas funciones, y poseen propiedades eléctricas y químicas para propagar los impulsos eléctricos. Un potencial eléctrico se propaga dentro de una neurona de forma unidireccional. Las señales de entrada se reciben en las dendritas, y se generan potenciales de acción que se propagan a través del axón hasta la sinapsis, que tiene tres componentes: terminal del axón, brecha sináptica y dendrita de la neurona postsináptica. Cuando el potencial de acción llega a la sinapsis, se emiten sustancias químicas, los neurotransmisores, que posibilitan cruzar la brecha sináptica. De esta manera, la siguiente neurona –la postsináptica– puede recibir y descodificar esa información eléctrica.

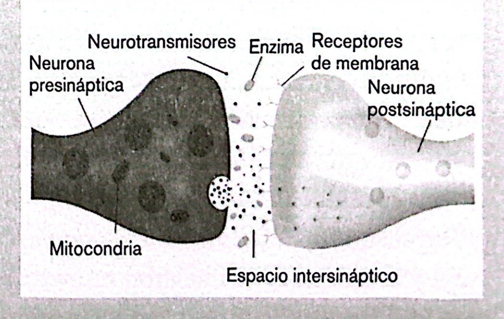


Figura 8: Sinapsis. Esquema de una sinapsis química, con la neurona presináptica (izquierda), y sus vesículas sinápticas cargadas de neurotransmisores. La llegada de un impulso nervioso (potencial de acción) provoca la liberación del neurotransmisor en la brecha sináptica (espacio intersináptico).

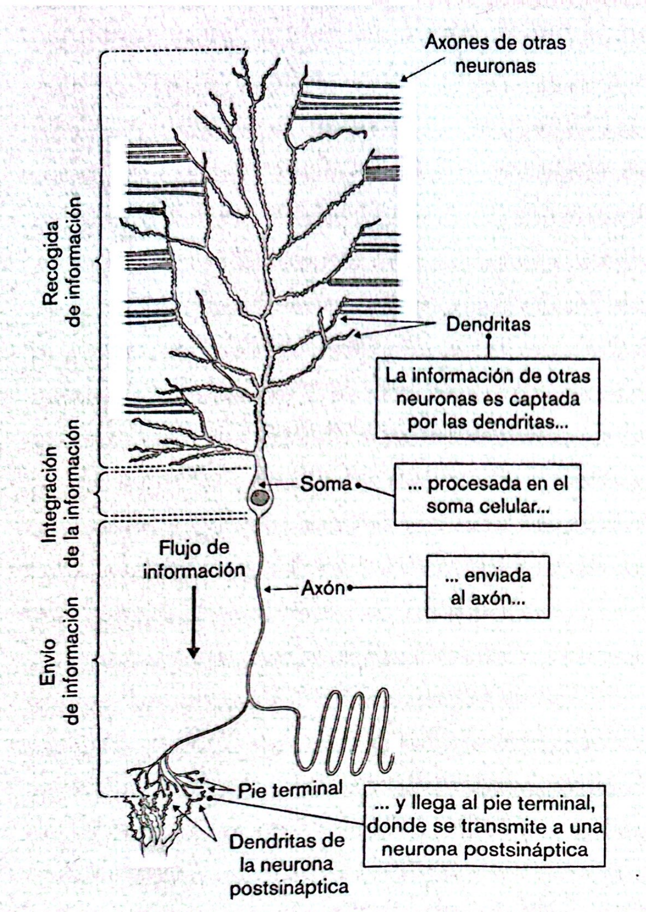


Figura 9: Propagación unidireccional. El potencial eléctrico se propaga dentro de la neurona desde las dendritas —donde se recibe la información— hasta la sinapsis, a través del axón.

Las neuronas pueden ser de distintos tamaños y formas, más simples o complejas, y están estructuradas de forma diferente según la función especializada que posean. Algunas neuronas están diseñadas para llevar información al encéfalo desde los receptores sensoriales, otras para procesarla dentro de encéfalo, y otras más para transmitirla desde el encéfalo a los diversos músculos del cuerpo. A partir de estas funciones, las neuronas se clasifican en neuronas sensoriales, interneuronas y neuronas motoras.

Uno de los primeros estudios de este tipo fue el que realizó Hebb con un grupo de ratas jóvenes. Las dividió en dos subgrupos y asignó un ambiente diferenciado a cada uno de ellos: el primero creció en la cocina de su casa y el segundo, el de control, se desarrolló en jaulas de laboratorio en la Universidad McGill, en Montreal. Obviamente, durante el tiempo que duró el experimento, las «ratas de casa» recibieron muchos más estímulos en sus experiencias que las del laboratorio, incluyendo las persecuciones y los golpes de escoba que les atizaban los familiares de Hebb. Al finalizar la etapa experimental, el biopsicólogo realizó un «test de inteligencia» específico para este tipo de animales que consistía en resolver una serie de laberintos, que más tarde pasarían a ser conocidos como laberintos de Hebb-Williams. Las ratas de casa obtuvieron resultados mucho mejores que las de laboratorio, por lo que Hebb concluyó que la inteligencia y la conducta en general están influidas por la experiencia. Sin duda, una idea revolucionaria para el momento.

De sus experimentos, Hebb extrajo también la idea de que las personas criadas en ambientes estimulantes alcanzarían mejores desarrollos intelectuales, mientras que personas criadas en ambientes empobrecidos sufrirían limitaciones. Cabe abrir un paréntesis aquí, porque esta conclusión, aunque aparentemente lógica, presenta algunos problemas, ya que en primer lugar habría que definir qué significa *estimulante* o *empobrecido* y no equipararlo automáticamente a una condición social. Lo que determina que un ambiente sea o no empobrecido es la cantidad y la calidad de los estímulos recibidos.

Si las vivencias particulares tienen la capacidad de moldear nuestra inteligencia, podemos predecir que distintas experiencias podrán moldearla de manera diferente, algo que se ha comprobado en el desarrollo del lenguaje o de la música. Por ejemplo, las personas expuestas únicamente a la música occidental desde la niñez

suelen encontrar peculiar la música oriental, e incluso les parece carente de musicalidad cuando la escuchan por primera vez siendo adultos. Es de suponer que las células de los sistemas de análisis del lenguaje y de la música se ven modificadas por la experiencia temprana y pierden en la edad adulta parte de su plasticidad.

El siguiente gran hito en los estudios sobre neuroplasticidad y memoria se produjo en 1972, cuando el neurocientífico Michael M. Merzenich (nacido en 1942) publicó el resultado de una de sus primeras investigaciones. Ya en ese momento, gracias a los trabajos de Wilder Penfield (1891-1976), se sabía que en una determinada zona del cerebro se encuentra representado un mapa de nuestro cuerpo. En las operaciones de neurocirugía que realizaba con anestesia local y manteniendo a la persona consciente, Penfield estimulaba con una corriente eléctrica puntos de la corteza, tras lo que el paciente refería distintas sensaciones. De esta forma, en caso de lesiones, podía aislar la parte dañada del cerebro para extirparla. El objetivo de Penfield era originalmente clínico pero estas prácticas le permitieron identificar distintas áreas somatosensoriales, con lo que configuró el famoso «homúnculo de Penfield»: un mapa motor cortical que representa el cuerpo como un pequeño hombre distorsionado. Así, las áreas de la cara, la boca y las manos ocupan mucho más espacio cortical del que les correspondería en relación con su tamaño dentro del cuerpo (véase la figura 10, en la pág. 60). Constató que cuando, por ejemplo, las células nerviosas de la piel de la mano reciben una estimulación con un pinchazo, transmiten un impulso eléctrico a través de la médula espinal a un área concreta del cerebro en el córtex somatosensorial, y, por lo tanto, se siente dolor.

Con estos conocimientos, Merzenich se propuso completar la investigación que había realizado Penfield, pero con una técnica más depurada, valiéndose de electrodos, a fin de cartografiar con

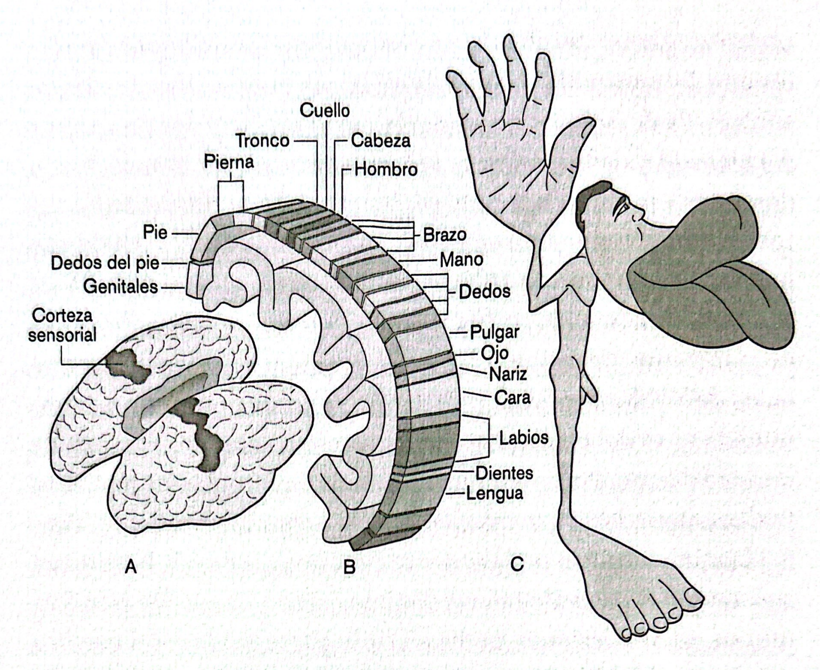


Figura 10: El homúnculo de Penfield. La piel envía información a la corteza sensorial del cerebro, representada como una banda gris en la imagen tridimensional del cerebro (A) y una banda con varias tonalidades en la sección de la corteza ampliada (B). A esta corteza va a parar la información sensorial de todas las partes del cuerpo. En el homúnculo (C) se muestran las zonas del cuerpo que están representadas en esa corteza, en el que el tamaño de cada zona es proporcional a su sensibilidad. En este homúnculo los labios son desproporcionadamente grandes, como correlato de la enorme densidad de receptores sensoriales que presentan, lo que explica su elevada sensibilidad al contacto físico.

mayor precisión el córtex cerebral de los primates. Con el cráneo del animal abierto, introducía un electrodo en el área de la corteza que registra las sensaciones de la mano, y tras muchos ensayos logró dar forma a un pequeño mapa de las neuronas responsables de las sensaciones. Prosiguió su investigación seccionando el nervio sensorial de diversos primates más con el objetivo de

observar cómo reaccionaba el cerebro cuando se producía una lesión en el sistema nervioso periférico. El descubrimiento fue sorprendente: los nervios sensoriales volvieron a desarrollarse y el cerebro también recuperó su funcionamiento normal, si bien después de un tiempo de estimulación y superados los momentos de confusión y entrecruzamiento de sensaciones. El descubrimiento provocó un nuevo terremoto en las teorías vigentes de la comunidad científica, pues los neurólogos pensaban que la estructura del cerebro adulto era fija y que en ella no se producían modificaciones. Una cosa es que la experiencia condicionara nuestra conducta, como había afirmado Hebb, pero Merzenich les hablaba ahora de algo mucho más serio: en el cerebro adulto podían darse reestructuraciones neuronales rápidas.

Durante las tres décadas siguientes, Merzenich prosiguió con sus investigaciones sobre la plasticidad neuronal en el cerebro de monos adultos. El científico realizó diversos experimentos para determinar el aporte relativo de los genes y la experiencia a la neuroplasticidad, y los resultados fueron nuevamente asombrosos. Merzenich había constatado que los mapas corticales de las manos de los monos varían considerablemente de unos a otros; los hay de mayor y de menor amplitud. Desconocía la causa, pero estaba decidido a encontrarla. Uno de sus experimentos le dio la clave: entrenó a un grupo de monos para que consiguieran alimento girando un disco rotatorio con los tres dedos centrales de la mano. Pasados unos meses, el área del córtex de los monos responsable de los dedos había aumentado notablemente, en particular la que correspondía a las puntas de los dedos usados, al mismo tiempo que se incrementó la sensibilidad táctil de estos dedos. La experiencia había modificado el cerebro de esos animales.

No pasaron demasiados años antes de que se realizaran estudios similares en humanos. Es el caso de la investigación llevada

Los miembros fantasma

En determinadas lesiones de los sistemas sensoriales, la falta de estímulos sensoriales en la correspondiente región de la corteza cerebral no implica que esta se quede inactiva, al contrario, comienza a reorganizarse para reaccionar a otros estímulos. Por ejemplo, cuando se amputa una mano, la región cerebral que responde a la mano en el homúnculo deja de recibir el estímulo del miembro perdido y pasa a responder a estimulaciones en la cara, que es un área contigua. De esta forma, la zona de la cara se extiende y coloniza, por así decirlo, el área que correspondía a la mano. Pero el cerebro sigue conservando circuitos que también representaban el área de la mano, y el individuo al tocarse la cara tiene la sensación de que se está tocando la mano. Por tanto, las personas a quienes han amputado algún miembro conservan en su cerebro un mapa que aún representa a ese miembro, el conocido como «miembro fantasma», que sigue procesando información sensorial y motora.

A los 17 años, el paciente conocido como Tom perdió el brazo izquierdo justo por debajo del codo en un accidente de coche. Durante las semanas siguientes, tal como relata el eminente neurólogo Vilayanur Ramachandran (nacido en 1951), que estudió a fondo este caso: «Aunque sabía que no tenía brazo, Tom aún podía sentir su presencia fantasmal más allá del codo. Podía "mover" cada dedo, "extender" la mano o "agarrar" objetos que estuvieran al alcance de la mano. De hecho, su brazo fantasma parecía capaz de hacer todo lo que el brazo real habría hecho automá-

a cabo por Thomas Ebert y su equipo de colaboradores, en la que compararon imágenes del cerebro de violinistas y violonchelistas con las correspondientes a personas que no eran músicos. Aquellos que tocan instrumentos de cuerda saben que se utilizan los dedos de la mano izquierda para pisar las cuerdas, mientras que los dedos de la mano derecha que mueven el arco no requieren movimientos tan sutiles y diferenciados. El equipo de investigación descubrió que la zona del córtex correspondiente a los dedos de la mano derecha no difería significativamente entre los que eran músicos y los que no. Sin embargo, las zonas

ticamente. Dado que Tom había sido zurdo, el brazo fantasma intentaba coger el teléfono cada vez que este sonaba».

Pero la realidad era que después de la amputación dejaron de llegar señales de la mano perdida y, como consecuencia, las fibras sensoriales procedentes de la cara de Tom, que normalmente solo activarían la zona cortical correspondiente al rostro, comenzaron a invadir el territorio vacante de la mano y a activar las células de esa zona. Por consiguiente, cuando se tocaba la cara de Tom, él sentía también sensaciones en la mano fantasma. Así lo explicaba el científico en sus apuntes personales:

–[Ramachandran] ¿Qué sientes?

–[Tom] Me está tocando la mejilla. Oiga, qué curioso: me está tocando el dedo pulgar que perdí, el pulgar fantasma.

Pasé el bastoncillo por su labio superior.

–[R] ¿Y ahora?

–[T] Me está tocando el dedo índice y el labio superior.

–[R] ¿De verdad? ¿Está seguro?

–[T] Sí, lo siento en los dos sitios.

–[T] ¿Y ahora? –Le toqué la mandíbula con el bastoncillo.

–[R] Ese es el meñique que perdí.

Algunos de estos pacientes sufren dolores insoportables en brazo, mano o dedos fantasma, hasta el punto de pensar en el suicidio. El dolor no solo es persistente, sino imposible de tratar; nadie tiene ni la más remota idea de cómo se origina ni de qué hacer para que desaparezca, aunque Ramachandran sigue probando nuevos métodos para aliviarlos.

correspondientes a los dedos de la mano izquierda eran hasta cinco veces más extensas en el cerebro de los músicos. Además, aquellos que habían empezado a tocar el instrumento antes de los trece años presentaban un mayor desarrollo de esas zonas, en comparación con los que se habían iniciado más tarde, pues el tamaño de la representación de una zona corporal en la corteza depende de la intensidad y duración de su estimulación. Las investigaciones de Ebert demostraban que los cambios estructurales del cerebro se llevan a cabo más fácilmente durante los primeros años de vida. Así pues, cabe pensar que un músico

como Mozart llegó a tal genialidad no solo por su dotación genética, que era muy especial, sino también por la práctica de la destreza en la infancia, cuando su cerebro era más maleable.

Hemos visto hasta aquí cómo a partir de las experiencias se forman las distintas redes de neuronas que crean las huellas mnemónicas —o engramas— y hasta qué punto la conformación de esas redes va moldeando nuestro cerebro durante toda nuestra vida, especialmente en las primeras etapas. Pero ¿cómo se consolidan los recuerdos?

Eric Kandel: las claves de la codificación y el almacenamiento

En la línea de los trabajos de Mezernich, al preguntarse de qué manera la interacción entre la experiencia y los procesos genéticos estructura la actividad mental, el neurofisiólogo estadounidense Eric Kandel (nacido en Viena en 1929 y premio Nobel de Fisiología y Medicina en el año 2000 por sus trabajos sobre la memoria), reflexionó sobre las dos concepciones filosóficas predominantes en el pensamiento occidental desde el siglo XVII: el empirismo y el racionalismo. Consideraba que ambas líneas de pensamiento iluminaban aspectos cruciales en la creación del cerebro humano, y que la combinación ponderada de sus respectivos enfoques podía arrojar una luz muy aclaradora sobre los enigmas del cerebro. Recordó que según el empirista británico John Locke (1632-1704) no hay conocimiento innato, la mente es una tabla rasa en la que se escriben las experiencias. Según esta doctrina, todo lo que sabemos del mundo es aprendido, de modo que cuantas más ideas acumulemos y elaboremos, tanto más duradero será su efecto sobre la mente. Por el contrario, los racionalistas afirmaban que

en la mente humana existen unas ideas innatas, algo que hay que entender no como ideas platónicas eternas en la mente, sino como unas capacidades y propensiones congénitas que se actualizan y realizan a lo largo de la vida en combinación con la experiencia sensible. Sin caer en una oposición maniqueísta propia de algunos manuales de introducción a la filosofía —según la cual los empiristas solo creerían en los sentidos y los racionalistas solo en las operaciones intrínsecas de la mente—, Kandel subrayó que estaban en juego dos énfasis encontrados: el que hace hincapié en la experiencia y el que privilegia cómo la mente a través de su información génica organiza esa experiencia. Puesto que para resolver este debate era necesario un estudio directo del cerebro, hasta la era contemporánea no ha sido posible resolver la contraposición planteada entre empirismo y racionalismo.

Tras estas reflexiones, Kandel pensó que había llegado el momento de realizar nuevos experimentos para el estudio de los mecanismos neurales del aprendizaje, esta vez con un procedimiento reduccionista, que partía del examen detallado del proceso de aprendizaje de un organismo muy simple. Eligió el molusco marino *Aplysia* y estudió un reflejo comportamental —la retracción de la branquia— aparentemente modificable por habituación y sensibilización, que recordemos que son las formas de aprendizaje más elementales. Kandel comprobó que un leve estímulo en la piel activaba varias neuronas sensoriales, que en conjunto generaban una señal importante, un potencial sináptico, en cada una de las neuronas motoras, haciéndolas disparar varios potenciales de acción. Esos potenciales de acción de las células motoras producían a su vez un comportamiento, la retracción de la branquia. Aún más: Kandel confirmó que esa alteración no era siempre igual sino que dependía del tipo de estímulo a la que fuera expuesta la *Aplysia*, por lo que la sometió a procesos de habituación y sensibilización

y estudió las respuestas de su sistema nervioso: en un caso, las conexiones sinápticas se debilitaban, pues la habituación atenúa las sinapsis; en otro, se fortalecían. Reformuló entonces la hipótesis presentada por Cajal en 1894 de la siguiente manera: la experiencia es capaz de modificar la intensidad de las conexiones sinápticas interneuronales. En sus propias palabras:

> Los procesos genéticos y de desarrollo determinan las conexiones entre neuronas, es decir, qué neuronas establecen conexiones sinápticas con cuáles otras y cuándo lo hacen. Pero no determinan la tenacidad de esas conexiones. Eso, la eficacia a largo plazo de las conexiones sinápticas, está regulado por la experiencia. Esta concepción implica que el potencial para muchos comportamientos del organismo es algo intrínseco al cerebro y está sujeto al control de los genes. No obstante, el medio y el aprendizaje de una criatura alteran la eficacia de las vías preexistentes y habilitan la expresión de nuevos perfiles de comportamiento.

Kandel abrió varias ventanas en el estudio neurobiológico de la memoria y con sus experimentos pudo constatar que ambas posiciones, empirismo y racionalismo, se complementan: la anatomía del circuito neuronal es una estructura apriorística —anterior a la experiencia, «innata» en el sentido racionalista—, mientras que las modificaciones de la firmeza de conexiones particulares dentro de este circuito reflejan la influencia de la experiencia. Y en plena conformidad con la noción de Locke de que la práctica establece la permanencia de los contenidos, es así como la persistencia de las modificaciones neuronales son la base de la memoria.

Parecía claro ya que tanto el aprendizaje como la memoria implicaban las conexiones sinápticas, pero Kandel fue más allá y

se planteó investigar los pasos genéticos y moleculares intermedios, los mecanismos de formación y consolidación de la memoria, es decir, el diálogo entre genes, proteínas, sinapsis, y memoria a corto y a largo plazo. Para ello, tendría que penetrar en la célula y estudiar su constitución molecular.

En lo relativo a la fase de construcción o codificación, siguiendo los estudios de Hebb, abundó en la idea de que tanto en la memoria implícita como en la explícita existen etapas en las que los recuerdos se codifican, es decir, se convierten en constructos que pueden ser almacenados en el cerebro, como cambios en la fuerza sináptica.

Tras la codificación, estudió el almacenamiento, consciente de que ambos procesos estaban estrechamente relacionados. Sabía que la excitación conjunta de varias neuronas las vincula más entre sí formando una red de recuerdo más estable. No obstante, la consolidación de un recuerdo en LTP (*long term potentation*, en sus siglas en inglés, 'potenciación a largo plazo') requiere de cierto tiempo (la consolidación de un recuerdo puede llegar a necesitar meses e incluso dos años de tiempo).

Como se vio en el capítulo anterior, la estabilización de la memoria compromete de manera especial al hipocampo, que está conectado con todas las áreas del córtex cerebral, adonde envía la información para que el córtex se la devuelva, a la espera de una confirmación más definitiva. Cuando se ha confirmado el interés reiterado de grabar el mensaje, se consolida el recuerdo a largo plazo. Cada vez que rememoramos ese recuerdo, la conexión se reactiva y se refuerza. Pero ¿qué implicaciones bioquímicas tiene este circuito? Debemos volver a Kandel, que formuló tres principios del almacenamiento de la memoria a largo plazo en todos los animales, incluidos los seres humanos.

El primer principio: para que la memoria a largo plazo se ponga en acción es necesario que se expresen ciertos genes,

es decir, que la información que guarda cada gen se transcriba en proteínas. El segundo principio: hay limitaciones biológicas respecto de la índole de las experiencias que se almacenan en la memoria. Para que se activen los genes correspondientes a la memoria a largo plazo, es necesario que se activen una serie de proteínas, concretamente las CREB-1, y que se desactiven otras, las CREB-2.

La gente no recuerda todo lo que sucede y sería insoportable si así fuera: conservaríamos un sinfín de datos irrelevantes e innecesarios para nuestras vidas individuales y colectivas, nuestras memorias serían vertederos caóticos en los que resultaría imposible encontrar algo, y estaríamos abrumados por la mera cantidad no cualitativa de material hacinado. Por eso, los genes que codifican las proteínas supresoras establecen un umbral alto para la conversión de la memoria a corto plazo —aquella que no se conserva más de veinte segundos— a la memoria a largo plazo. Por esta razón solo recordamos ciertos acontecimientos y olvidamos la mayor parte de las vivencias. Cuando se elimina esa restricción biológica se inicia el proceso de la memoria a largo plazo, y los genes activados por la proteína CREB-1 son reclamados para el desarrollo de nuevas terminaciones sinápticas. El hecho de que el gen deba activarse para que se forme la memoria a largo plazo es una prueba más de que los genes no determinan el comportamiento en exclusiva, sino que ellos también responden a la estimulación del ambiente, al aprendizaje.

Y el tercer principio para la memoria a largo plazo de Kandel: el desarrollo y el mantenimiento de las nuevas terminales sinápticas hacen que la memoria persista.

El estudio de la proteína CREB en la *Aplysia* condujo a Kandel y a su equipo a otra conclusión fundamental: las memorias a corto y largo plazo obedecen a mecanismos bioquímicos

El papel de las emociones en la consolidación de los recuerdos

Un factor determinante en la consolidación de recuerdos es el clima emocional en que se adquiere la memoria. Probablemente, todos recordemos las terribles imágenes de diciembre de 2004 que mostraban cómo un devastador tsunami barría la costa de Sumatra y otras cercanas. Desde entonces, habremos tenido noticia de muchas otras catástrofes, pero el alto contenido emocional de aquellas grabaciones hacen que esta sea especialmente difícil de olvidar.

Lo mismo ocurre si pensamos en acontecimientos importantes de nuestra biografía, como el día del nacimiento de nuestro hijo o el día en que aprobamos la selectividad. Es posible que seamos capaces de recordarlos con una sorprendente riqueza de detalles menores: el tiempo que hacía, la frase insustancial pronunciada por alguien en concreto... Que tales recuerdos se conserven con esa tenacidad se debe a que tienen un componente emocional asociado a nuestra persona; es decir, a que los hechos a los que se asocian han contribuido de manera destacada a configurar nuestra identidad.

Como vimos al abordar la memoria emocional en el capítulo anterior, este tipo de recuerdos compromete de manera especial a la amígdala. Solo una vez codificados allí los estímulos, estos pasarán al hipocampo.

Todos los recuerdos relevantes en nuestra historia personal tienen un «sabor». Algunos son alegres, otros tristes, otros inquietantes... Sin embargo, los estudios realizados utilizando la técnica de la resonancia magnética funcional para investigar cómo afecta el contexto emocional al proceso de memorización señalan que aquellos sucesos vinculados a un contexto emocional positivo son más fácilmente recordados. Probablemente se trate de una estrategia evolutiva más.

distintos, puesto que en la primera no está involucrada la proteína CREB y, por lo tanto, se hacen innecesarias las modificaciones en la expresión génica. Según Kandel, los cambios sinápticos a corto plazo implican modificaciones de proteínas preexistentes, que conducen a modificaciones de las conexiones sinápticas también preexistentes.

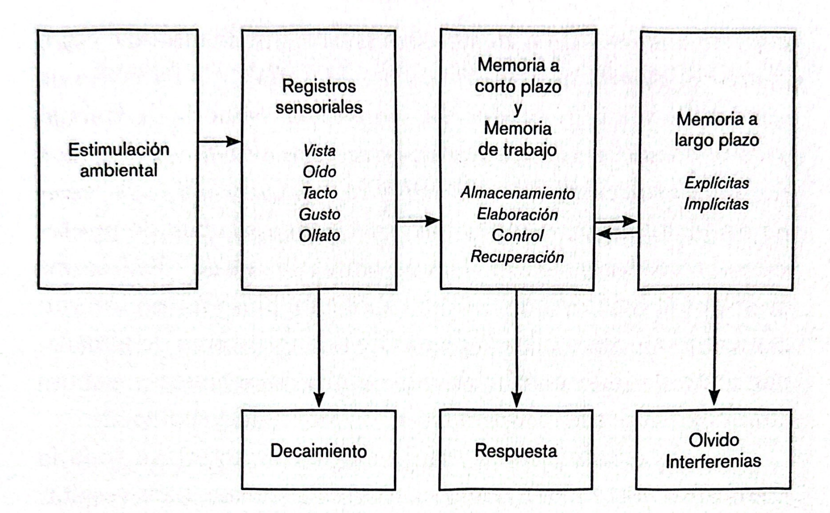


Figura 11: Tipos de memoria según el criterio temporal. Son tres: la sensorial, la memoria a corto plazo —en la que se incluye la variante de memoria de trabajo— y la memoria a largo plazo.

repetirlo en voz alta o mentalmente hasta que lo marcamos. Si alguien nos interrumpe mientras lo estamos reteniendo, lo más probable es que el número se disipe de nuestra memoria. La duración de la memoria a corto plazo tiene que ver con el relieve de la información —si esta es muy significativa durará más en la memoria que si es insignificante—, con la motivación —si se informa a los participantes que cuando acaben de leer una frase se les pedirá que recuerden las consonantes, el rendimiento será mejor que si no se les da esa instrucción— y con la calidad de la misma.

Conviene aclarar de entrada que, aunque a veces se nombran indistintamente, la memoria a corto plazo y la memoria de trabajo no siguen procesos estrictamente idénticos. La primera consiste en un sistema de almacenamiento de la información con determinadas características, como la capacidad de almacenar

siete elementos, más o menos dos (véase el recuadro «Nuestro límite: "El mágico número 7 más o menos 2"»), y la duración de hasta unos veinte segundos. En cambio, la memoria de trabajo hace referencia a las operaciones que mentalmente realizamos con la información, elaborándola y reorganizándola para resolver problemas (por ejemplo, mientras estamos hablando por teléfono, recordar que tenemos que tender la colada). Podríamos decir que la memoria de trabajo supone un plus en relación con la memoria a corto plazo: además de ser un sistema de almacenamiento de información, opera con ella, la organiza y elabora continuamente y la recupera mentalmente cuando conviene.

Algunos autores, como Alan Baddeley, caracterizan toda la memoria a corto plazo como memoria de trabajo, para resaltar el papel fundamental y activo que esta última cumple en los sistemas de memoria. De hecho, la empleamos cuando hablamos, escuchamos a otras personas, leemos, escribimos, hacemos los cálculos aritméticos y toda clase de operaciones mentales. Se trata, por otra parte, de la memoria más comprometida cuando tenemos que realizar dos tareas simultáneas que requieren recuperar e intercambiar información propia de una y otra. Estudios con neuroimagen han comparado la actividad cerebral cuando los participantes ejecutan dos tareas simultáneamente, con los datos cuando hacían cada tarea por separado, y han confirmado el papel crítico de la corteza prefrontal en este tipo de memoria. También algunos estudios de pacientes con lesiones en esta área han constatado que presentan déficit de la memoria de trabajo.

Aunque este tipo de memoria se empieza a desarrollar en el primer año de vida, la relevancia que en sus mecanismos tiene la corteza prefrontal —que no alcanza su desarrollo completo hasta la tercera década de la vida de la persona— provoca su imprecisión en las primeras etapas vitales.

Nuestro límite: «El mágico número 7 más o menos 2»

En un artículo ya clásico titulado «El mágico número 7, más o menos 2», el psicólogo George Miller (1920-2012) estableció los límites de nuestra capacidad para procesar información (fase de codificación) en la memoria a corto plazo. Miller calculó el número de elementos que podemos almacenar en este tipo de memoria en siete, con una variación de cinco a nueve. Debe entenderse por elemento una unidad de significado, como un número, una letra, una palabra o una frase.

Si la cifra se nos queda corta, no hay que desanimarse: existen estrategias para ampliar las posibilidades de la memoria a corto plazo. Un método para hacerlo es mediante el agrupamiento, *chunking*, de los elementos en unidades significativas. Supongamos que una persona tiene que recordar las siguientes letras: O, N, U, U, N, E, S, C, O, U, E, A. Esta tarea es más fácil de recordar si la serie de letras se agrupa de la siguiente manera: ONU, UNESCO, UEA. En vez de utilizar cada letra como una unidad, se toman como unidad las agrupaciones de letras, por lo que solamente ocupan tres unidades de memoria. El agrupamiento no aumenta la capacidad de la memoria, pero permite hacer unidades más grandes.

Cuando estamos despiertos, continuamente hacemos uso de la memoria de trabajo. Pero esta no es solo una memoria operativa en el presente; también opera con el futuro, tiene un carácter prospectivo, anticipa objetivos, planes y acontecimientos que la persona desea, o piensa que ocurrirán sin su participación. De eso hablaremos a continuación.

Cómo se crean los recuerdos del futuro: la memoria prospectiva

El futuro se constituye desde el pasado, ya que todas las acciones y planes de acción tienen una historia y un pasado, una memoria detrás. En 1985, D. H. Ingvar acuñó la expresión «recuerdos del

futuro», todo un oxímoron poético con el que se avanzaba a los estudios actuales que demuestran que imaginar el futuro se basa en los mismos mecanismos neuronales que se emplean para recordar el pasado.

Los seres humanos son proyectivos y propositivos. ¿Quién no se propone metas para el futuro? Estas metas guían nuestro comportamiento y existen como imágenes mentales del futuro convertidas en contenidos de la mente humana. No se trata solo de una cuestión de anhelos. Nuestro comportamiento depende tan-

Los altos ejecutivos y la directora de orquesta

Los lóbulos frontales son el último logro en la evolución del sistema nervioso, particularmente el córtex prefrontal. En los primates y en el ser humano alcanzan el mayor desarrollo en una especie y son cruciales para las acciones finalistas: identificar objetivos y metas, establecer planes para alcanzarlos, realizar esos planes, supervisar el proceso de realización, introducir modificaciones y mejoras, valorar los resultados logrados. Los lóbulos frontales permiten liberar al máximo al organismo de las respuestas fijas y rutinarias, representar, imaginar alternativas, innovaciones y mejoras. Son nuestros altos ejecutivos, los responsables de que se hable de la memoria ejecutiva, la cognición ejecutiva, la inteligencia ejecutiva y todos esos términos tan frecuentes en la investigación y práctica clínicas y educativas. Sin el gran desarrollo de los lóbulos frontales, el cerebro ejecutivo, en palabras del experto Elkhonon Goldberg, sus conquistas culturales y su desarrollo no serían posibles.

Este papel preponderante de los lóbulos frontales se refleja en la arquitectura neuronal, pues todas las conexiones anatómicas y funcionales, los complejos tractos neuronales del cerebro, llevan al córtex prefrontal y vuelven de allí. La corteza prefrontal mantiene miles de millones de conexiones con otros sistemas, así que recibe y remite información proveniente de otras partes del cerebro: las cortezas frontales, parietales, temporales y occipitales, el tálamo, los ganglios basales, la amígdala, el hipocampo y todo el sistema límbico.

La corteza prefrontal es para el cerebro lo que el director para la orquesta. Una sinfonía no reside en un instrumento en particular, sino que surge de la interac-

to de las memorias del pasado como de las memorias del futuro, como ilustra el caso de los pacientes con lesión en el lóbulo frontal, que se encuentran a merced de distracciones accidentales y son incapaces de ejecutar un plan, lo que se conoce como «comportamiento dependiente del campo». Un paciente con lesión en esta área beberá de una copa vacía que tiene delante, garabateará con un lápiz sobre la mesa, se pondrá una chaqueta que pertenece a otra persona, simplemente porque copa, chaqueta y lápiz están allí, aunque estas acciones no tengan sentido.

ción entre todos los instrumentos presentes en el concierto, y es el director quien coordina y ordena. Análogamente, todas las conductas complejas dependen de más de una capacidad mental y múltiples sistemas neuronales, y son los lóbulos prefrontales los responsables de organizarlas y llevarlas a buen término, de planear, seleccionar y supervisar los caminos y estrategias para resolver los múltiples y variados tipos de problemas. De ahí la denominación de «funciones ejecutivas» o «inteligencia ejecutiva», generalizada con la obra de Muriel Lezak, quien las caracterizó como las capacidades mentales esenciales para lograr una conducta eficaz, creativa y adaptada socialmente.

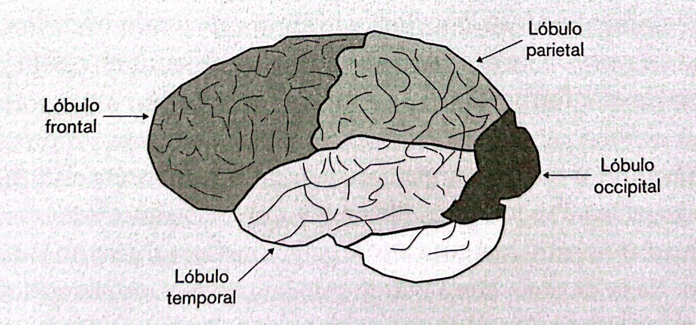


Figura 12: Los lóbulos cerebrales. Los lóbulos frontales son cruciales para las acciones ejecutivas.

Cuando imaginamos y proyectamos acciones o acontecimientos futuros estamos sirviéndonos de la memoria del pasado, de las acciones que nosotros hemos realizado o de las que ejecutaron otros. Toda acción planeada para el futuro requiere el recuerdo de acciones realizadas con anterioridad. Volviendo al esquema de Fuster que vimos en el primer capítulo, las acciones futuras resultan de la reorganización de memorias ejecutivas disponibles en el lóbulo frontal, que a su vez mantienen una estrecha interacción con las memorias perceptivas en la corteza posterior: occipital, temporal, parietal. Planificar para el futuro es recrear el pasado de una manera nueva; así, la corteza prefrontal convierte el cerebro humano en el órgano predictivo de las propias acciones y sus consecuencias.

Para demostrar la crucial importancia que tiene en nuestro desempeño cotidiano el poder concentrarnos en un plan concreto, Elkhonon Goldberg realizó un experimento en el que pedía a un paciente llamado Vladimir que escuchase la historia de la gallina de los huevos de oro, y que luego la repitiese de memoria. La historia era la siguiente: un hombre tenía una gallina que ponía huevos de oro, el hombre era codicioso y quería tener más oro inmediatamente. Mató la gallina y la abrió esperando encontrar dentro un montón de oro, pero no había nada. Vladimir repitió la historia de esta forma:

> Un hombre vivía con una gallina... o mejor el hombre era el dueño de la gallina. Producía oro. El hombre... el dueño quería más oro inmediatamente... así que cortó la gallina en trozos, pero no había oro. Nada de oro... corta más la gallina y no hay oro. La gallina sigue vacía... Así que busca una y otra vez... no hay oro... Busca por todas partes en todos sitios... La búsqueda sigue con una grabadora... está mirando aquí y allí y no hay nada nuevo... Dejan en marcha la grabadora, algo está girando allí... ¿qué demonios están

grabando allí?... algunos dígitos... 0, 2, 3, 0... De modo que están grabando todos estos dígitos... no muchos de ellos... por esto es por lo que grababan todos los demás dígitos... así que todo fue grabado. (Continúa el monólogo.)

La respuesta a este galimatías lo encontramos en el entorno. Mientras realizaba la entrevista, Goldberg estaba sentado frente a Vladimir con una grabadora, registrando sus palabras. La tarea de Vladimir consiste en recordar la historia, la grabadora es completamente circunstancial para esta tarea, pero su mera presencia es suficiente para desbaratar la capacidad de Vladimir de seguir el hilo. En lugar de estar guiado por el plan de acción, recita lo que ve delante de él: el giro y parpadeo de la grabadora. Su secuencia de pensamiento se ha perdido, y ya no guarda relación con la tarea. Es incapaz de reanudar el plan de su pensamiento y queda perdido en la digresión «dependiente del campo».

En sus estudios sobre memoria ejecutiva, Goldberg recuerda aún otro altercado ilustrativo que presenció en el hospital universitario donde solía pasar consulta. Algunos pacientes de la unidad se colaban en las habitaciones de otros pacientes, provocando el enfado de las enfermeras, que les acusaban de intenciones maliciosas. La realidad era mucho más sencilla y triste. Los pacientes errantes entraban por la puerta solo porque las puertas estaban allí: eran pacientes con daño en el lóbulo frontal que sufrían de comportamiento dependiente del campo. Las repercusiones de su lesión en las memorias ejecutivas les impedían elaborar planes de acción y estrategias para la solución de problemas.

La memoria prospectiva que nos permite elaborar esos planes de acción futuro tiene aún otro componente relevante. Para Ramachandran, uno de los atributos del «yo» es la sensación de «estar al mando» de nuestras acciones, y de creer que habríamos

podido actuar de otro modo si así lo hubiéramos decidido. Esto quizá pueda parecer una cuestión filosófica abstracta, pero desempeña un papel muy importante en la identidad personal, en las relaciones sociales y en la justicia penal (podemos considerar a alguien culpable «solo» si: era capaz de concebir líneas de acción alternativas; era plenamente consciente de las consecuencias potenciales de sus acciones a corto y largo plazo; podría haber decidido no realizar la acción; y quería el resultado obtenido).

Hasta aquí hemos analizado cómo se codifican y almacenan nuestros recuerdos, ahora ha llegado el momento de ver qué sucede cuando queremos evocarlos. ¿Son maleables nuestros recuerdos más íntimos?

La memoria nos engaña

La memoria también elucubra, y los recuerdos biológicos no necesariamente coinciden con los hechos históricos. El psicólogo suizo Jean Piaget (1896-1980), tan conocido por sus estudios de la mente infantil, explicaba la siguiente experiencia de su infancia, que recordaba vívidamente y podía describir con todo lujo de detalles:

> Uno de mis primeros recuerdos es de cuando tenía dos años. Aún puedo ver muy claramente la siguiente escena que creí hasta que tenía quince años. Mi niñera me paseaba en cochecito por los Campos Elíseos, cuando un hombre intentó secuestrarme. El cinturón que me sujetaba por la cintura me salvó. Mi valiente niñera opuso resistencia al secuestrador, por lo que recibió varios golpes. Aún distingo vagamente su cara amoratada. La gente hizo un corro a nuestro alrededor. Un policía con una capa corta y una porra blanca

se acercó, y el hombre huyó corriendo. Todavía hoy puedo ver esa escena e incluso ubicarla justo al lado de la estación de metro. Cuando tenía quince años, mis padres recibieron una carta de mi anterior niñera. En ella explicaba que se había alistado en el Ejército de Salvación, y que sentía la necesidad de confesar sus anteriores mentiras, y sobre todo devolver el reloj que había obtenido de mis padres, en recompensa por salvarme en aquella ocasión. Se había inventado toda la historia, y ella misma se había producido las marcas en la cara. De todo esto se deduce que yo debí de oír siendo niño este relato, creído a pies juntillas por mis padres, y debo de haberlo proyectado en el pasado en forma de memoria visual.

N*ormalmen*te pensamos que nuestra memoria registra y almacena fielmente los objetos, personas, acontecimientos, y los recupera posteriormente también con fidelidad, pero el caso de Jean Piaget nos demuestra que no es *así. Cu*ando se forman los recuerdos (fase de construcción o codificación) no siempre se ajustan a la realidad que los origina, y lo mismo ocurre al recordarlos y recuperarlos (fase de reconstrucción o evocación).

Para entender por qué la alteración de los recuerdos se puede deber a los procesos de codificación debemos saber que nuestra percepción del mundo no siempre se corresponde con lo que está sucediendo en la realidad. En la percepción se dan dos tipos de procesos: los ascendentes, de abajo arriba, bottom-up, en que los datos de la información que proporcionan los sentidos y ascienden al cerebro son los determinantes, ya que el sujeto no pone en marcha ningún tipo de mecanismo intencional; y los descendentes, top-down, en que están muy presentes los conocimientos y expectativas de la persona en un contexto determinado. Los efectos del contexto en los procesos descendentes son más notorios, especialmente cuando la situación no está bien definida,

porque el estímulo es ambiguo y el nivel de interpretación de la percepción es mayor. En estos casos, la evocación puede ser poco fiable. Así, por ejemplo, supongamos que un padre saca la cabeza por la ventana y llama a su hijo, en la calle, para añadirle cuatro productos a la lista de la compra que lleva en el bolsillo. El chico recibirá la información entre el runrún del tráfico habitual en su calle, la música que escucha la joven que pasa por su lado y el estrés producido por la situación. Sin duda, esos estímulos tendrán más dificultad para ser recordados más tarde en la tienda.

En cuanto a los errores que se producen cuando transferimos la información de la memoria a corto plazo a la de largo plazo, cabe decir que en la reconstrucción del recuerdo posterior a la percepción intervienen otros procesos como los esquemas semánticos personales ya comentados, entre los que se incluyen los estereotipos y los prejuicios. Recordemos que nuestro cerebro, en un ejercicio admirable de economía cognitiva, en vez de percibir y recordar todos los detalles de una persona, objeto o acontecimiento, se sirve de unos esquemas ya almacenados en nuestra memoria, y procura atender solo a las características distintivas del nuevo estímulo. Eso significa que ese recuerdo es fragmentario, por lo que, cuando un tiempo después intentemos recuperarlo, para que el recuerdo resulte coherente estaremos obligados a rellenar los huecos que faltan de acuerdo con las expectativas y conocimientos previos.

Un esquema muy frecuente en la interacción social son los mencionados estereotipos o prejuicios, mediante los cuales atribuimos características físicas o de personalidad a un colectivo de personas, por ejemplo, los japoneses. Como bien sabemos, esos estereotipos raramente son aplicables a la mayoría de las personas del grupo, y sin embargo al hablar de alguien en concreto tendemos a mezclar la información que poseemos con la del estereotipo que influye en nosotros, y que incluso puede llegar a

dominarnos, sin que lo sepamos. Así, los recuerdos que tengamos de esta persona estarán en parte construidos sobre el estereotipo y más o menos distorsionados según este se adapte a las características de la persona. Claro que el grado de incidencia del estereotipo dependerá en buena medida del predominio de uno sobre otro: si nos controla él a nosotros, o nosotros a él.

También la información que se nos proporciona tras un suceso puede alterar y distorsionar el recuerdo de este. Los estudios de la psicóloga estadounidense Elizabeth Loftus (nacida en 1944) son muy ilustrativos. En un experimento dirigido por ella y su equipo, un grupo de personas visionó la grabación de un accidente entre dos coches, y acto seguido se planteó a los sujetos una serie de preguntas acerca del accidente que acababan de ver. Se los dividió en dos grupos y se les hizo unas entrevistas idénticas excepto en una palabra de una de las preguntas. Al primer grupo se le preguntó sobre la velocidad de los vehículos de la siguiente *forma*: «¿A qué velocidad iba el coche de color rojo cuando golpeó al otro?». La misma pregunta se repitió al segundo grupo: «¿A qué velocidad iba el coche rojo cuando chocó con el otro?». El grupo «choque» dio una velocidad estimada mayor que el grupo «golpe», en un claro ejemplo de cómo las preguntas tendenciosas influyen sobre las respuestas dadas. Todos los participantes volvieron una semana más tarde y contestaron algunas preguntas más sobre el accidente. Una de ellas les preguntaba si habían visto cristales rotos. No los había, por lo que la respuesta correcta sería «no». Sin embargo, los sujetos del grupo «choque» eran más propensos a responder afirmativamente que los participantes del grupo «golpe». El verbo chocar proporciona información postacontecimiento, y al oír esa palabra el participante reconstruye el recuerdo como accidente más violento. El recuerdo de los cristales rotos quedó integrado al del accidente.

Loftus, especializada en el estudio de la memoria humana, lleva cuatro décadas estudiando la fiabilidad de los recuerdos. Con sus experimentos ha demostrado también que se puede convencer a la gente, por ejemplo, de que una vez se perdieron en un centro comercial, o de que vieron una señal de tráfico que nunca estuvo ahí. Dar a la gente detalles erróneos puede alterar lo que recuerda de eventos pasados. Este fenómeno se conoce como «efecto desinformación».

Existen otros fenómenos curiosos en el falseamiento de recuerdos: parece ser que la gente tiende a recordarse mejor de lo que era —cree que votó en elecciones en las que no participó, que dio más a la caridad de lo que en realidad donó, o que sus hijos caminaban o hablaban antes de cuando lo hicieron—. No hay una sugestión externa que plantee esos recuerdos, lo hacemos solos. La propia Loftus lo argumenta con la idea de que esta distorsión quizá nos ayude a vivir una vida más feliz y a sentirnos mejor con nosotros mismos.

Aprendizaje y memoria a lo largo de la vida

Hasta hace bien poco se pensaba que solo los cerebros de los niños eran «*plásticos*», pero en las últimas décadas una intensa labor de investigación —recordemos, por ejemplo, las aportaciones de Merzenich— ha confirmado que el cerebro conserva su plasticidad durante toda la vida. Dado que la neuroplasticidad sustenta el aprendizaje y la memoria, esto supone que podemos aprender en cualquier etapa del ciclo vital, aunque de formas un tanto diferentes y con unos periodos óptimos, «periodos sensibles», como son los primeros años de vida, durante los cuales unos aprendizajes concretos pueden ser más efectivos.

¿Podemos creer a los testigos?

La memoria constructiva tiene especial importancia en el sistema judicial. Se pueden ganar o perder casos, y más grave aún, una persona puede ser acusada, absuelta o condenada, incluso a cadena perpetua o a muerte, en determinados países, dependiendo de lo que recuerdan los testigos. Cuando no hay registro objetivo de los hechos, no se puede saber si el testigo dice la verdad; entonces nos fiamos de la confianza y seguridad que el testigo manifiesta respecto a la precisión de su memoria. Si un testigo declara que está completamente seguro de lo que vieron sus ojos, ¿nos podemos fiar de la declaración?

Los estudios han demostrado que la certeza del sujeto en sus recuerdos no garantiza que relate fielmente la realidad. Como se ha visto, este desajuste se debe a dos tipos de procesos: la codificación y registro de información, y la reconstrucción que puede ocurrir después de lo sucedido. La codificación puede tener lugar en condiciones deficientes, como poca duración, falta de atención, escasa iluminación, estrés, etcétera. Y después del suceso pueden darse interferencias que lleven a una reconstrucción del recuerdo demasiado creativa, como el mismo interrogatorio de la policía. Si las circunstancias en las que se creó el recuerdo fueron adversas, y existen razones para creer que ha habido una reconstrucción del mismo, se debería descartar la confianza del testigo en su testimonio. Los niños son especialmente susceptibles a la información sugerida, sobre todo cuando están siendo interrogados.

La ONG de Estados Unidos Innocent Project ha logrado desde 1992, gracias a pruebas de ADN, la excarcelación de 349 presos, algunos de los cuales estaban en el corredor de la muerte. Según sus estudios estadísticos, el 71% de las condenas a inocentes tiene su origen en declaraciones e identificaciones erróneas realizadas por víctimas o testigos.

Quizá sorprenda saber que el bebé, al nacer, tiene un número de neuronas similar al del cerebro humano adulto —unos cien mil millones; evidentemente, nadie las ha contado, se estima el número a partir del registro de una muestra muy pequeña y se extrapola a la totalidad—. Esto es así porque casi todas las neuronas del cerebro se generan sobre todo en el primer trimestre del

embarazo. En determinadas zonas del cerebro, como el hipocampo y el cerebelo, que son especialmente claves para las memorias explícitas e implícitas, el número de neuronas aumenta más rápida y notablemente.

La memoria explícita en las primeras etapas vitales

Durante el desarrollo del feto, el cerebro experimenta varias oleadas de reorganización, especialmente en el cableado o red de conexiones que se establecen entre ellas. Tras el nacimiento, el número de conexiones se incrementa exponencialmente, de modo que supera en mucho los niveles del cerebro adulto. El propio cerebro va ajustando este exceso, de tal manera que las conexiones más utilizadas se refuerzan y las menos empleadas se van eliminando. Esta reducción, conocida como «poda neuronal», es vital para el desarrollo del niño. Qué conexiones sobreviven y cuáles desaparecen está determinado en parte por los genes y en parte por las experiencias en el medio.

El desarrollo de la corteza cerebral no sigue unas pautas temporales uniformes. Por ejemplo, en la corteza visual se produce un aumento muy rápido de sinapsis en torno a los tres meses de edad, y después se da una disminución continua hasta estabilizarse en torno a los diez años, permaneciendo así durante la etapa adulta. En cambio, la sinaptogénesis, la poda neuronal y la mielinización se producen más tarde en la corteza frontal, que es la encargada, como se ha visto, de planear acciones, inhibir respuestas, supervisar actos, controlar emociones, tomar decisiones, según se ha comentado en este mismo capítulo. Su maduración no se inicia hasta los años de adolescencia, y se estabiliza en niveles de adultos en la tercera década de la vida.

Disponemos de abundante literatura sobre el desarrollo cerebral, ya sea sobre funciones visuales, auditivas, motrices, aprendi-

zajes y memorias básicas, y sabemos que en todas las culturas se adquieren aproximadamente a la misma edad, siempre que se reciba la estimulación adecuada antes de que se inicie la escolarización básica. Mucho menos se sabe de las relaciones entre niveles de sinaptogénesis y neurogénesis con la adquisición de conocimientos y destrezas —las diferentes memorias— en las etapas educativas posteriores. Cabe pensar que, cuando los alumnos aprenden, se forman continuamente millones de nuevas conexiones y redes neuronales en sus cerebros.

Si nos paramos a pensar en los primeros recuerdos de nuestra infancia y qué edad teníamos entonces, vienen a la mente episodios y sucesos fragmentarios y aislados. Lo normal es que no recordemos nada de lo vivido durante los dos primeros años, a causa de la amnesia infantil temprana de la que hablábamos en el primer capítulo. La formación de recuerdos autobiográficos va muy vinculado al sentido del yo, que aparece al final del segundo año de vida, de ahí que numerosos estudios con adultos sobre sus recuerdos autobiográficos arrojen resultados muy limitados respecto a lo sucedido antes de los cinco años. De los recuerdos anteriores a los once años, menos del 1% de registros eran de antes de los tres años. Esto en lo relativo a la memoria explícita y autobiográfica, pero existen otras memorias que están operativas incluso antes de nacer: las memorias implícitas.

La memoria implícita en las primeras etapas vitales

En el último trimestre de la vida intrauterina, el feto aprende y recuerda haciendo uso de sus memorias implícitas o procedimentales. La percepción del habla comienza en los últimos meses del desarrollo intrauterino. El feto procesa el sonido del habla de la madre y extrae pautas constantes de los *inputs* auditivos, como son las propiedades rítmicas del habla que se filtran a través del

líquido amniótico. Aprende a reconocer la melodía, el ritmo del lenguaje y la entonación. Evidentemente, el feto no entiende nada, pero es capaz de distinguir el lenguaje de otros sonidos, como la música y otros ruidos y aprende a responder a esos estímulos con patadas o cambios en la tasa cardiaca. Su capacidad va mucho más allá: el feto es también sensible a determinadas características del lenguaje y de la música. Reacciona ante los cambios de estilos musicales: pop, Beethoven o Mozart.

En el lenguaje puede discriminar más. La voz de la madre percibida a través del líquido amniótico suena muy distinta de la oída tras el nacimiento. Sin embargo, los recién nacidos la reconocen, por lo que podemos afirmar que es un aprendizaje que se ha consolidado antes de nacer. Varios estudios actuales confirman que los recién nacidos prefieren escuchar la voz de su madre tal y como la percibían en el útero que como es después de nacer, pero también prefieren la voz de su madre fuera del útero a otra voz femenina. Así pues, el feto en el útero puede extraer información de algunas características invariantes de la voz de su madre, las almacena y recuerda, lo que es muy importante para la supervivencia, porque estimula al bebé a prestar atención a la voz de la madre. También es clave para establecer relaciones de apego.

En los tres primeros días de vida extrauterina, los recién nacidos prefieren escuchar su lengua materna antes que otras lenguas. Mediante la técnica de la succión no nutritiva —que presenta diversas variantes, la más básica de las cuales conecta un chupete con un ordenador y registra la tasa de succión del bebé ante un determinado estímulo—, el equipo dirigido por J. Mehler ha demostrado que los bebés nacidos de madres francoparlantes succionan con más fuerza al oír el francés que al oír el ruso. Sin embargo, no cambian su frecuencia de succión en respuesta

al cambio del ruso al inglés, lo que indica que aún no pueden distinguirlos. Por supuesto, los recién nacidos no son sensibles al significado de las palabras ni a la gramática del francés, lo que reconocen son las características rítmicas de la prosodia.

A lo largo del libro hemos ido viendo casos que nos ilustran hasta qué punto la memoria implícita se desarrolla tempranamente, mientras que la explícita o declarativa depende de sistemas cerebrales de desarrollo más tardío. Hay acuerdo general en señalar que los ganglios basales y el cerebelo participan en el aprendizaje y en la memoria implícitos, y estas estructuras cerebrales alcanzan la madurez en una fase muy temprana de la vida.

Las memorias en la adolescencia y en la vida adulta

En la corteza frontal del preadolescente, de siete a trece años, se produce un incremento de sustancia gris y de sinapsis. Ya en esta etapa tienen lugar los procesos de poda sináptica y de incremento de la sustancia blanca, la mielina, que envuelve los axones de las neuronas, las aísla e incrementa la velocidad de transmisión de los impulsos eléctricos, y este incremento continúa desde la adolescencia hasta la tercera década de la vida.

Estos cambios en el cerebro de los adolescentes son los que posibilitan la progresiva aparición de las capacidades cognitivas, especialmente las funciones ejecutivas, como memoria de trabajo, atención selectiva y sostenida, planificación de tareas futuras, inhibición de conductas inadecuadas, toma de decisiones y resolución de problemas. Ciertamente, los adolescentes no toman decisiones tal y como lo hacen los adultos: se involucran en comportamientos de mayor riesgo y aumento de sensaciones novedosas. El comportamiento, en este caso, depende de las estructuras que regulan las emociones, como las cortezas prefrontal, orbitofrontal y ventromedial, y la amígdala.

La proeza memorística de los taxistas de Londres

El cerebro adulto sigue reconfigurándose. Lo demuestra un ingenioso estudio sobre la capacidad memorística de los taxistas de Londres, quienes realizan una de las mayores proezas memorísticas del mundo contemporáneo. Antes de convertirse en un taxista londinense autorizado, es necesario saberse el sinfín de calles de Londres, de sus combinaciones y permutaciones posibles, y los edificios principales, además de conocer las rutas más cortas. Quien tenga alguna relación con la capital inglesa no ignorará que hacen falta varios años para adquirir estas competencias.

Tal reto despertó la curiosidad de un grupo de neurocientíficos del University College de Londres. Maguire, Vargha-Khadem y Mishken utilizaron la técnica de resonancia magnética para trazar un mapa de las características físicas del cerebro de taxistas londinenses muy expertos. Observaron que la región posterior del hipocampo era más larga que en conductores novatos, mientras que otras áreas del hipocampo eran más pequeñas, lo que sugiere que los años de conducción experta habían causado un cambio físico en sus cerebros. En otro estudio relacionado, el equipo dirigido por Maguire usó la tomografía por emisión de positrones para monitorizar la actividad cerebral de los taxistas mientras llevaban a cabo una tarea de simulación de conducción por las calles de Londres. Cuando se les pedía que usaran sus conocimientos geográficos, se observaba activación del hipocampo derecho; esto no pasaba en el caso de tener que seguir una secuencia de flechas.

El cerebro adulto sigue conservando una gran plasticidad, que permite aprender y memorizar distintos contenidos, conocimientos culturales, habilidades y destrezas, para adaptarse continuamente a las exigencias del entorno. Lo demuestran muchas investigaciones, entre las que señalamos las de Maguire y sus colaboradores en la Universidad de Londres, donde se han realizado diferentes estudios sobre los cambios cerebrales de personas adultas, asociados con aprendizajes y memorias, tanto a nivel micro como macro (véase el recuadro superior).

También se han realizado estudios con músicos, especialmente pianistas y violinistas. En ellos, la corteza auditiva, área del

Hartley, Maguire y sus colaboradores compararon asimismo la activación asociada a la actividad de seguir un recorrido novedoso, sirviéndose de un mapa, con la actividad de completar un recorrido bien conocido. Encontraron que el hipocampo estaba muy implicado en el desciframiento de la ruta novedosa, mientras que otras áreas estaban activas cuando la ruta era familiar. Se podría argumentar que el grupo de los taxistas de Londres es atípico por varias razones. El suyo es un trabajo potencialmente estresante, con tráfico denso, calles estrechas y contaminación. Para controlar estos condicionantes, se estudió también a un grupo de conductores de autobuses de Londres con un número similar de años de experiencia en conducción por la ciudad, y se comparó con el grupo de los taxistas. Una vez más, los investigadores encontraron que los taxistas, en comparación con los conductores de autobús, presentaban un mayor volumen de materia gris en el área posteromedial de los hipocampos, y menor en la zona anterior. Además, a mayor experiencia como taxista, mayor diferencia. En los tests cognitivos, los taxistas reconocían mejor cuáles de una serie de elementos pertenecían a Londres y cuáles no, y estimaban mejor la distancia en línea recta entre dos puntos específicos de la ciudad.

A ambos grupos se les evaluó después en una tarea que requería aprendizaje nuevo y que consistía en copiar una figura compleja para reproducirla de memoria después. En esta tarea de aprendizaje nuevo, los taxistas fueron significativamente peores que los conductores de autobús. Así pues, parece que la larga experiencia de los taxistas había creado una representación espacial muy compleja y eficaz de Londres, pero a costa de una reducción de la capacidad de nuevo aprendizaje visoespacial.

cerebro que procesa los sonidos, es un 25 % más grande que en las personas que no practican con instrumento musical. Como ocurría con los taxistas de Londres, el incremento se correlaciona con la edad a la que comenzaron a tocar. Cuando analizábamos cómo la experiencia llega a moldear el cerebro, vimos que en los músicos se modifican las áreas que controlan el movimiento y el tacto, en la corteza sensomotora. En los violinistas, que utilizan más los dedos de la mano izquierda para tocar las cuerdas, la representación de esta mano, que se procesa en el hemisferio derecho, es significativamente más grande que en la población que no toca instrumento de cuerda. En cambio, en los pianis-

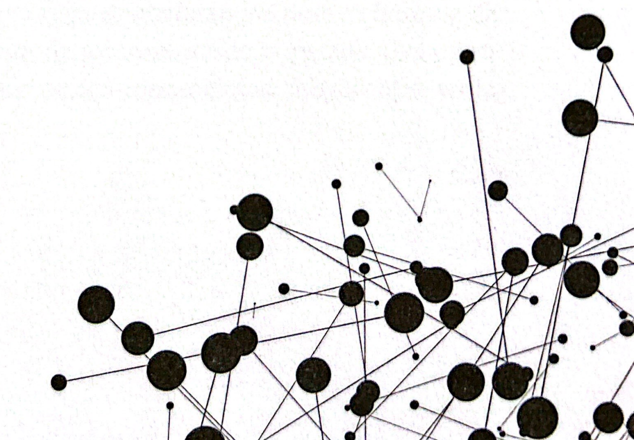
tas, que utilizan las dos manos por igual, la representación de las dos manos en los dos hemisferios cerebrales es equivalente, y significativamente más grande que en la población normal. Cuanto antes se empiece a tocar, en la infancia, más grande será el área de la representación de los dedos en los hemisferios.

Sin embargo, no siempre son necesarios largos años de entrenamiento para que se produzcan cambios observables en nuestro cerebro. Solamente cinco días de práctica son suficientes para que las áreas sensomotoras del cerebro se modifiquen y adapten al ejercicio. Un grupo de adultos que no sabían tocar el piano aprendieron una melodía durante cinco días, unas dos horas diarias. El área cerebral responsable de las sensaciones y movimientos de los dedos aumentó significativamente al compararla con el grupo de control, que no había aprendido el ejercicio.

En otro caso de estudio de capacidad memorística en adultos, se les enseñó una melodía muy simple a personas que no tenían experiencia alguna con el piano. Se dividieron en dos grupos. Uno de ellos practicó la melodía durante dos horas al día durante cinco días. El otro grupo tenía que sentarse delante del piano durante el mismo tiempo, pero limitándose a imaginar que tocaba la melodía, sin tocar ni una sola tecla. Mediante la técnica de estimulación magnética transcraneal se registró la actividad cerebral y se constató que aquellos que solamente habían imaginado tocar la melodía presentaban los mismos cambios en el cerebro que los que realmente habían tocado el piano. Se demostraba así que el cerebro también se modifica y genera recuerdos al pensar e imaginar.

Al alcanzar la vejez, la neuroplasticidad se ve afectada y disminuye, pero incluso en la última etapa del ciclo vital el cerebro sigue estableciendo conexiones neuronales. No obstante, es también entonces cuando suelen aparecer algunos de los trastornos más habituales de la memoria, como veremos en el próximo capítulo.

ALTERACIONES DE LA MEMORIA



El cerebro aprende y memoriza, pero también olvida. En condiciones normales olvidamos lo que no es relevante para nosotros, e incluso aquellos recuerdos relevantes que no rememoramos acaban desvaneciéndose con el paso del tiempo. Sin embargo, en este proceso de recordar y olvidar, a veces se producen alteraciones de la memoria que van más allá del deterioro cognitivo propio de los mecanismos citados o del envejecimiento. Hablamos de fenómenos que implican la pérdida de la capacidad de recordar, como son el deterioro cognitivo leve, las demencias y las amnesias.

En el polo opuesto, el del deterioro de la capacidad de olvidar, destacan los casos extremos de personas que presentan dificultad o imposibilidad para borrar la información, especialmente en áreas específicas; a menudo son personas con graves problemas de desarrollo, pero que poseen una memoria extraordinaria, como ocurre con el síndrome *savant*.

Este abanico de alteraciones de la memoria es el que aborda este capítulo, en cuyo final se analizan los nuevos hábitos de aprendizaje con la ayuda de internet desde la perspectiva de su potencial transformador de los mecanismos subyacentes en la memoria humana.

Reserva cognitiva e influencia del entorno

Se ha comentado ya que la organización funcional del cerebro se modifica continuamente en función de las experiencias del individuo, de lo que se deduce que nuestras vivencias pueden potenciar o deteriorar nuestras habilidades cognitivas. Se trata de una cuestión fundamental, puesto que las investigaciones apuntan que la ejercitación de estas habilidades puede ralentizar el deterioro de la memoria en la tercera edad.

Los cambios en el cerebro producidos en esa etapa vital, ya sea a raíz del envejecimiento o de alguna causa más específica —léase tanto una enfermedad como una estimulación o inhibición mediante psicofármacos—, pueden darse a distintos niveles: molecular, neuronal, de redes neuronales y de sistemas cerebrales. A la habilidad de tolerar estas modificaciones en estructuras cerebrales sin presentar síntomas clínicos nos referimos con la expresión «reserva cognitiva».

Una persona que ha ejercitado durante toda su vida sus capacidades cognitivas ha acostumbrado a su sistema nervioso a adaptarse a los cambios y a usar circuitos neuronales alternativos en caso de lesión. Es decir, en el concepto de reserva cognitiva está implícita una neuroplasticidad potenciada a través de la actividad mental.

Algunos estudios, como el que se está realizando con monjas de la orden de Nôtre-Dame en Estados Unidos, demuestran que es posible proteger nuestros cerebros y preservar nuestra identidad el máximo tiempo posible. El estudio en cuestión partió del análisis *post mortem* de los cerebros de las monjas de la citada orden, que evidenció la presencia de trastornos y lesiones propias de la enfermedad de Alzheimer en algunos casos, a pesar de que esas monjas no habían presentado los síntomas de la enfermedad en

Activos mentalmente

Son diversos los estudios que concluyen que la realización de actividades cognitivas en edades avanzadas, como leer, practicar juegos de mesa, de ordenador, resolver crucigramas, laberintos o hacer manualidades, así como participar en actividades sociales, supone una disminución de entre el 30 % y el 50 % de riesgo de padecer un deterioro cognitivo leve. Las personas mayores que se comprometen en actividades estimulantes, novedosas e intelectualmente interesantes presentan una mayor capacidad verbal y de memoria en comparación con otras menos activas.

Aunque en el campo del entrenamiento cerebral hay posturas científicas encontradas, un estudio reciente conocido como ACTIVE parece constatar que la práctica dirigida y el entrenamiento en ejercicios mentales afianzan una reserva cognitiva frente al proceso degenerativo. En este estudio se entrenó específicamente la memoria, el razonamiento y la velocidad del procesamiento cognitivo; participaron 2832 adultos sanos de entre 65 y 94 años, que conservaron las mejoras conseguidas de sus habilidades cognitivas durante un mínimo de dos años.

vida. Por el contrario, se habían mantenido activas hasta edades muy avanzadas. Su cotidianidad, comprometida con numerosas actividades sociales, había incrementado la reserva cognitiva y retrasado la aparición de los síntomas de demencia. El estudio concluyó que el cerebro, estimulado por estas experiencias vitales, se reorganiza, obstaculizando y retrasando la manifestación de los síntomas. En resumen, no está en nuestras manos detener el proceso de envejecimiento, pero si trabajamos nuestra reserva cognitiva podremos retrasar el deterioro de las funciones cerebrales y la aparición de demencias.

En este sentido, los ambientes y entornos enriquecidos —con abundantes estímulos— suelen propiciar una mayor ejercitación de las funciones cognitivas que las experiencias enmarcadas en

contextos empobrecidos —con carencia de estímulos—. Sobre este tema se han realizado numerosas e interesantes investigaciones con animales y también estudios con humanos como el ya comentado de D. Hebb con ratas criadas en la cocina de su casa, o los muchos experimentos del pionero en estudios del desarrollo neural Willliam T. Greenough.

De hecho, la investigación durante décadas del grupo de Greenough confirmó la importancia del ambiente para el aprendizaje y la memoria. Entre otras cosas, puso de manifiesto que las ratas de laboratorio criadas en entornos complejos (con ruedas para girar, escaleras para subir y otras ratas con las que jugar, por ejemplo) tenían en las áreas cerebrales implicadas en la percepción sensorial y motora hasta un 25 % más de sinapsis por neurona que las ratas criadas en un ambiente con carencias, sin «juguetes» ni compañeros. Las ratas estimuladas aprendían mucho más rápido a recorrer laberintos y retenían en la memoria los recorridos.

Evidentemente, con seres humanos no se puede hacer este tipo de experimentos, pero se han realizado estudios *ex post facto*, por ejemplo, con niños nacidos en Rumanía (véase el recuadro «El caso de los niños huérfanos rumanos»). Por desgracia, hay demasiadas oportunidades para estudiar los trastornos de todo tipo que sufren bebés y niños criados en contextos de carencias, desnutrición, abandono, maltrato, abuso y violencia. Estos estudios revelaron que algunos bebés y niños rumanos que vivían en condiciones lamentables y fueron adoptados por familias en otros países consiguieron recuperarse cuando la duración del periodo vivido en carencia extrema no había sido demasiado extenso. Se concluyó que los periodos superiores a seis meses producen trastornos de más difícil recuperación, particularmente en cuanto a capacidades cognitivas, de aprendizaje y memoria, emocionales y sociales.

El caso de los niños huérfanos rumanos

En la década de 1970, el régimen comunista que gobernaba Rumanía, presidido por el matrimonio Ceaucescu, estimuló la natalidad prohibiendo su control y el aborto. El resultado: miles de embarazos no deseados. Más de 100 000 niños fueron a parar a orfanatos, donde vivían en condiciones lamentables, sin estimulación ambiental, sin juguetes. Baste para ilustrar la nula interacción personal que tenían con sus cuidadores el hecho de que para limpiarlos se les daba un manguerazo de agua fría. Tras la caída del gobierno comunista miles de estos niños fueron rescatados y criados en hogares de adopción, especialmente en Canadá, Reino Unido y Estados Unidos.

Existen varios estudios sobre el desarrollo de estos niños desde que llegaron a los hogares de acogida. Uno de ellos, dirigido por Michael Rutter, de la Universidad de Londres, constató que su peso, talla y perímetro encefálico estaba por debajo de la media de su edad, y que presentaban graves trastornos en el desarrollo motor, cognitivo, emocional y social. Durante los dos primeros años posteriores a la adopción, estos niños mejoraron de manera sorprendente: el promedio de talla y peso casi se normalizó, aunque el perímetro encefálico, que es una medida aproximada del tamaño cerebral, permanecía por debajo de lo normal. Muchos de estos niños posteriormente han presentado un desarrollo adecuado. Pero no todos. ¿Por qué?

El factor clave para predecir la recuperación fue la edad de adopción. Los niños adoptados antes de los seis meses de edad evolucionaron mucho mejor que los adoptados más tarde. Estudios con neuroimagen de huérfanos rumanos adoptados en Canadá mostraron que los niños acogidos en edades más tardías tenían un tamaño cerebral inferior al normal. En la adolescencia, estos mismos chicos también presentaron problemas y comportamientos del espectro autista, dificultades en el aprendizaje escolar, hiperactividad y déficit en la interacción social. La conclusión es que el cerebro puede ser capaz de recuperarse de un breve periodo de carencia extrema en la primera infancia, pero periodos superiores a seis meses producen trastornos insalvables.

El desgraciado caso de Genie, uno de esos «niños salvajes de la modernidad» que tanta literatura científica han generado, ilustra igualmente la importancia del entorno en el normal desa-

rrollo del cerebro, los procesos cognitivos y el comportamiento. Genie nació en Los Ángeles en 1957 y vivió con sus padres y su hermano mayor en un piso angelino donde imperaban la violencia y trastornos diversos. Genie comenzó a hablar un poco tarde, a los 20 meses. Un médico de familia sugirió que la niña presentaba problemas de aprendizaje y, posiblemente, discapacidad intelectual. El padre, creyendo que las autoridades le arrebatarían a su hija para llevarla a una institución especializada, decidió «protegerla» de los peligros del mundo exterior recluyéndola en casa. A partir de ese momento, Genie empezó a experimentar los efectos de la soledad. Hasta los 13 años no tuvo contacto con el mundo ni con persona alguna, salvo su padre, quien la mantuvo encerrada en una habitación, vestida únicamente con un pañal y atada a una silla. Tenía prohibido emitir sonidos o hacer ruido. Si lo hacía, su padre la golpeaba o le ladraba como un perro feroz para asustarla.

Cansada de los abusos y las palizas, la madre logró finalmente escapar con sus hijos. Acudió a una oficina de beneficencia en busca del apoyo del estado de California. La trabajadora social que la atendió se dio cuenta de que la niña usaba pañales, fijaba la mirada en algún punto indefinido en el espacio y emitía sonidos propios de un bebé. Al descubrir que tenía 13 años avisó a la policía. La niña fue puesta en custodia y se acusó a los padres de negligencia y maltrato infantil. Debido a una orden judicial se sabe poco de Genie en la actualidad, pero en 1977 la neurocientífica Susan Curtis, tras estudiar su caso, reveló que la niña presentaba graves problemas en el desarrollo visual y que nunca aprendió a hablar. Aun así, Genie demostró interés por aprender y consiguió expresar ideas a través de otros canales, como la mímica. El suyo constituye un caso extremo de los efectos que el aislamiento severo y los entornos empobrecidos pueden provocar trastornos

cognitivos mientras que los carenciales pueden ocasionar en la fase de desarrollo.

Recapitulando, parece confirmado que los entornos empobrecidos pueden provocar trastornos cognitivos mientras que los enriquecidos y la ejercitación de las habilidades cognitivas pueden ralentizar el deterioro de la memoria propio de la tercera edad. Pero ¿por qué y cómo se produce este?

Memoria y olvido en el envejecimiento

Tradicionalmente se ha pensado que, con el paso de los años, el cerebro está condenado a seguir un proceso predeterminado por el que irá perdiendo neuronas, volumen y funcionalidad. Sin embargo, las últimas investigaciones han demostrado que no hay un proceso único y lineal de envejecimiento cerebral, pues la plasticidad neuronal se mantiene toda la vida y la evolución de cada cerebro depende de qué hagamos con él, qué le pidamos, y con qué lo alimentemos en todos los sentidos.

Dado que la población de los países occidentales envejece con rapidez, en los últimos años se han propiciado numerosos estudios sobre los cambios en los procesos cognitivos relacionados con la edad. La mayoría de estos sigue diseños transversales, en los que se comparan cohortes de jóvenes, adultos y ancianos, pero también se han llevado a cabo estudios longitudinales, más costosos pero con resultados de mayor interés, en los que se hace un seguimiento de un grupo de personas durante un largo periodo del ciclo vital. En la actualidad, estos últimos, complementados con las tecnologías de neuroimagen, están ofreciendo prometedores avances en este campo.

La primera conclusión de estos estudios corrobora una disminución de determinadas capacidades perceptivas y cognitivas

asociada al envejecimiento, al tiempo que confirma que otras funciones mentales permanecen estables e incluso ganan en eficiencia con la edad. Así, en la tercera edad se presenta una pérdida de memoria que afecta a todos los tipos: la de corto plazo, la de trabajo, la implícita y la explítica. Pero este fenómeno no se da de igual manera en todas las personas ni en todas las funciones mentales. Además, el deterioro suele quedar atenuado por el hecho de que normalmente en esta etapa se posee un mayor conocimiento general del mundo y una memoria semántica superior, más capacidad para resolver problemas y lo que se denomina «sabiduría». El conocimiento del mundo y la competencia lingüística permiten a las personas compensar sus déficits en la manera de aprender, recordar y en la velocidad de procesamiento.

De entre las funciones, las más mermadas son las sensoriales y las motoras, así como la velocidad de procesamiento, especialmente afectadas por el déficit en la capacidad visual y auditiva, ya que este dificulta la atención a la información y, por lo tanto, a la codificación de la misma, y reduce la motivación para aprender cosas nuevas.

En cuanto a la memoria, la más afectada con el paso de la edad es sin duda la de trabajo. Con los años, nos resulta más difícil mantener la atención y gestionar la información en situaciones complejas que requieren rapidez y flexibilidad, como orientarnos en una ciudad cuando vamos conduciendo. Esto sucede porque, como se ha visto ya, los sistemas neurales del hipocampo son básicos para el aprendizaje y la estabilización de la memoria, sobre todo en el caso de la espacial, pero con la edad, las neuronas del hipocampo disminuyen, se generan menos neuronas nuevas y las conexiones sinápticas se alteran. Además, el lóbulo frontal, especialmente las áreas prefrontales, que como vimos resultan críticas para las funciones ejecutivas,

experimenta una pérdida de densidad y volumen que parece relacionada no tanto con la pérdida de neuronas como con la disminución de las espinas dendríticas y de las conexiones sinápticas. Ambos procesos complican los mecanismos de funcionamiento de la memoria de trabajo.

Una manera ilustrativa de caracterizar estos cambios en la cognición relacionados con la edad es a través de la distinción entre la inteligencia fluida y la cristalizada. La inteligencia fluida, que es la capacidad para razonar y resolver problemas independientemente de los conocimientos culturales aprendidos, muestra una continua disminución a partir de la cuarta década de la vida, mientras que la inteligencia cristalizada, que hace referencia a los conocimientos y cultura adquiridos, se mantiene e incluso mejora con los años.

Un estudio examinó múltiples dominios de la percepción y la cognición relacionados con la edad. Se asignaron varias tareas que detectaban velocidad de procesamiento, memoria operativa, memoria a largo plazo y vocabulario a una muestra de 300 adultos de entre 20 y 90 años. Con el transcurso de las décadas, se encontraron disminuciones en la velocidad de procesamiento, la memoria operativa y la memoria a largo plazo, mientras que el vocabulario y la memoria semántica se mantuvieron constantes o incluso se incrementaron entre los 60 y los 80 años. Un patrón similar se constató en un estudio con personas de 25 a 103 años de edad. En ese estudio se observó que el declive relacionado con la edad no difería de manera significativa en función de la educación, la clase social o los ingresos económicos.

Ahora bien, hay procedimientos y estrategias comunes con los que se pueden optimizar las funciones mentales y evitar deterioros más rápidos y graves. Estos incluyen una alimentación saludable y rica en ácido fólico, el sueño reparador, la actividad

El poder de la lectura

Leer promueve el desarrollo cognitivo y estimula la concentración, la memoria, el razonamiento, las emociones, los sentimientos y la empatía. Un cerebro lector es capaz de compensar el proceso degenerativo natural que conlleva el paso de los años. Cuando leemos, nuestro cerebro simula mentalmente las escenas ficticias en que se desenvuelven los personajes. Es decir, la lectura no es una actividad pasiva, sino que activa regiones cerebrales similares a las implicadas al ejecutar las acciones reales, como quedó constatado en un estudio reciente en que se pedía a los sujetos del grupo de control que leyeran un relato sobre la vida cotidiana de un niño de siete años, llamado Raymond, mientras estaban tumbados dentro de un escáner, de manera que a través de la resonancia magnética funcional se podía determinar la actividad cerebral. Cuando aparecía una situación novedosa en el relato, por ejemplo, cuando el pequeño Raymond entraba en otra habitación, se activaba en los lectores una región cortical que comprendía el hipocampo y el giro hipocampal. Dicha estructura es responsable del conocimiento y recuerdo de acontecimientos espaciales. La corteza premotora implicada en la planificación, ejecución y evaluación se comportó de forma similar: aumentaba su actividad cada vez que Raymond manipulaba un objeto nuevo.

Además, leer implica un continuo diálogo entre el lector y el escritor. La comprensión de textos requiere muchos procesos mentales, como inferencias para completar con la propia experiencia e imaginación del lector aquellos detalles que no están explícitos en el texto. Sin obviar que comprender un texto supone valorar lo que se lee, elaborar un juicio crítico, lo que se denomina «metacomprensión».

física, la interacción y participación social y la actividad mental con tareas específicas, particularmente la lectura. También resulta preventivo frente al deterioro de las funciones mentales evitar los factores de riesgo para los trastornos cardiovasculares, como diabetes, obesidad, hipertensión y tabaquismo.

Deterioro cognitivo leve y demencias

La habitual preocupación de las personas por la preservación de la memoria está estrechamente vinculada a la necesidad que sentimos de preservar la identidad. Se ha dicho ya que, aunque nos resulten alarmantes, los cambios propios del proceso de envejecimiento no deben considerarse trastornos. Sin embargo, hay otras categorías diagnósticas que sí son consideradas enfermedades y cuyos síntomas pueden alterar el «yo»: el deterioro cognitivo leve (DCL) y las demencias.

El DCL está considerado un síndrome que en el espectro se sitúa en la zona intermedia entre los cambios propios del envejecimiento natural y los síntomas más graves de la demencia. Se caracteriza por una disminución del rendimiento de la memoria, constatado por pruebas cognitivas, en comparación con otras personas de edad y nivel educativo similar. El paciente se suele quejar de problemas en la memoria, hecho que es corroborado por algún familiar o amigo cercano. Sin embargo, ese es el único síntoma notable, pues la capacidad de juicio y de razonamiento se mantienen inalterados, de manera que puede seguir con su vida cotidiana.

En las diferentes modalidades de DCL acostumbran a darse los mismos cambios cerebrales que en las demencias, si bien la diferencia está en la extensión y gravedad de tales cambios, que en este caso son mucho más limitados. Aunque no se puede predecir qué personas tienen más probabilidades de padecer DCL, sí existen factores de riesgo que pueden propiciarlo, como factores genéticos, una tensión arterial alta, diabetes y mantenerse poco activo física, mental y socialmente.

Los estudios estiman que de un 10 % a un 15 % de personas diagnosticadas con DCL evolucionan anualmente a demencia, y en los cinco años siguientes pueden llegar a ser de un 60 % a un

70 %. Por tanto, el DCL a veces puede ser el inicio de una demencia, pero también puede ser un trastorno que permanece estable, e incluso ser reversible.

Más grave que el DCL es el diagnóstico de demencia, que designa un deterioro de los procesos cognitivos y comportamentales progresivo, y que conlleva una restricción gradual de las actividades cotidianas, ocupacionales y sociales. El declive de los procesos cognitivos puede afectar a diversas funciones mentales: memoria, atención, orientación espacial y temporal, pensamiento, emociones y lenguaje. Los cambios conductuales son variados, desde apatía a agitación, irritabilidad y agresividad.

Según el Manual de Diagnóstico de la Asociación Americana de Psiquiatría, DSM-5, los criterios diagnósticos para las demencias o trastornos neurocognitivos graves son:

- Evidencias de un deterioro cognitivo significativo, comparado con el nivel previo de rendimiento, en uno o más dominios cognitivos, como aprendizaje y memoria, atención compleja, función ejecutiva, lenguaje, habilidad perceptual o motora y cognición social, basada en la preocupación del propio individuo, un informante que lo conoce bien o en un clínico. Se requiere, además, un deterioro sustancial de rendimiento cognitivo, preferentemente documentado por evaluación neuropsicológica, o por otra evaluación clínica cuantitativa.
- Los déficits cognitivos interfieren en la autonomía del individuo en las actividades cotidianas, como comprar, pagar facturas, cumplir con los tratamientos, entre otros.
- Los déficits no ocurren en el contexto de un síndrome confusional.
- Los déficits cognitivos no se explican mejor por otro trastorno mental, como la depresión o la esquizofrenia.

Como recoge el DSM-5, hay muchos tipos de demencias, y se pueden clasificar según diversos criterios: edad de aparición, etiología, signos neurológicos, respuesta a los tratamientos. Con respecto a la etiología, se diferencian las demencias degenerativas, las vasculares, y las debidas a varias causas. Por la zona cerebral particularmente afectada se diferencian: las demencias corticales, como el alzhéimer; las subcorticales, como el parkinson; y las axiales, como el síndrome de Korsakoff, que abordaremos al hablar de las amnesias. Las demencias tratables son susceptibles de mejoría, e incluso de remisión con el tratamiento, entre estas se encuentran las causadas por enfermedades vasculares, tumores, intoxicaciones o infecciones, aunque se estima que solo el 5 % son reversibles.

Sin duda, la enfermedad de Alzheimer es la demencia más frecuente. De hecho, representa el 60 % de diagnósticos por demencia en Europa. El 10 % de las personas mayores de 65 años y más del 50 % de las personas mayores de 85 en el mundo occidental la padecen.

El primer caso clínico conocido de la enfermedad es el de Auguste Deter, la paciente de 51 años a quien el neurológo alemán Artois Alzheimer trató por primera vez en 1901. Deter había llegado a la consulta de la mano de su esposo, quien se mostraba alarmado por la extraña conducta de su mujer en los últimos meses. Alzheimer relató así uno de los primeros encuentros con su paciente:

> La mujer se sienta en la cama, con una expresión de desamparo. Le pregunto:
> —¿Cuál es su nombre?
> —Auguste.
> —¿Su apellido?

La enfermedad de Alzheimer

El neurólogo y psiquiatra alemán Alois Alzheimer (1864-1915) publicó en 1906 un estudio ya clásico titulado «Sobre un proceso patológico peculiar grave de la corteza cerebral» en el que describía el caso de una mujer de 51 años, Auguste Deter, que presentaba una serie de síntomas de comportamiento y patología asociada. La mujer sufría un trastorno grave de la memoria y de las capacidades mentales en general, y en el estudio *post mortem* la estructura celular de su corteza cerebral reveló varias anomalías que afectaban al neocórtex y a la corteza límbica.

La causa de la enfermedad se ha atribuido a varios factores: predisposición genética, niveles anómalos de oligoelementos, reacciones inmunitarias y virus de acción lenta. En ella se dan dos cambios neuronales principales: primero una pérdida de células colinérgicas en el prosencéfalo basal, por lo que uno de los tratamientos del alzhéimer consiste en administrar un fármaco como la tacrina que aumenta los niveles colinérgicos, pues parece retrasar temporalmente el avance de la enfermedad. La segunda patología es el desarrollo de placas neuríticas en la corteza cerebral, que contienen una proteína llamada «betamiloide», rodeada de células en degeneración. Las placas corticales no se distribuyen de manera uniforme por toda la corteza, sino que se agrupan principalmente en áreas del lóbulo temporal relacionadas con la memoria. Las primeras células que mueren están en la corteza entorrinal, lo que provoca una alteración significativa de la memoria.

Hay dos marcadores neuropatológicos: las placas amiloides y los ovillos neurofibrilares. Ambos pueden estar presentes en distinta proporción y lugar del cerebro en el envejecimiento normal. En el alzhéimer, sin embargo, la distribución y densidad de estos marcadores muestran características propias. En las primeras fases de la enfermedad, se observan únicamente en el sistema límbico, pero va avanzando posteriormente hacia el neocórtex.

—Auguste [por Deter].

—¿Y el nombre de su marido?

—Auguste, creo.

—¿Su marido?

—Ah, mi marido. Estoy confusa...

Cuando se inicia la enfermedad, el paciente se olvida de experiencias recientes, particularmente de la memoria episódica, y después es afectada la memoria semántica. Al comienzo, el paciente tiene altibajos en los que alterna días de lucidez con otros en que comienza la confusión. Con el progreso de la enfermedad, las deficiencias en la memoria para nombres y caras y la desorientación espaciotemporal avanzan. El gradiente temporal de la amnesia retrógrada se incrementa, y el paciente solo recuerda lo sucedido veinte o treinta años atrás: el paciente vive en el pasado, en un estado de confusión y desconcierto. La memoria espacial está afectada y es incapaz de reconocer calles, barrios, edificios. Esta agnosia topográfica se agrava con el paso del tiempo y se da una mayor dificultad para identificar lugares recientemente conocidos o aprender nuevos mapas.

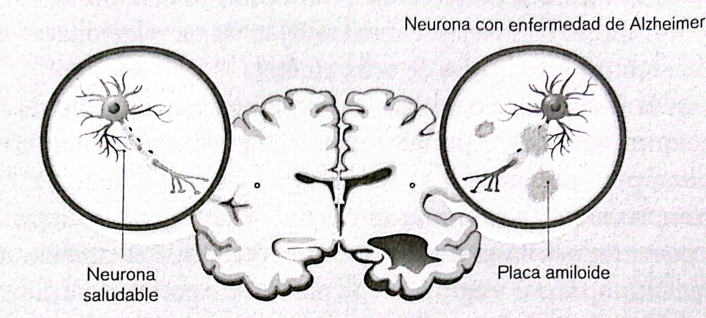


Figura 13: Marcadores neuropatológicos del alzhéimer. Las placas amiloides son depósitos extracelulares del péptido beta-amiloide en la sustancia gris que se asocian con la degeneración de las estructuras neuronales. Estas placas y los denominados ovillos neurofibrilares son los dos marcadores neuropatológicos de la enfermedad.

Alzheimer presenció el imparable deterioro cognitivo de Auguste Deter durante cuatro años sin saber cómo diagnosticarla. Su caso no encajaba con ninguna de las patologías conocidas en el momento. El caso le intrigó de tal manera que, cuando Deter murió, solicitó permiso para estudiar su cerebro. Los resultados,

publicados en 1906, dieron a conocer la enfermedad de Alzheimer, un descubrimiento que en la época despertó poco interés.

En los últimos años ha avanzado el conocimiento de la patología. Se diferencian tres etapas en la evolución de la enfermedad: la amnésica, la confusional y la demencial. La etapa amnésica se caracteriza por el déficit en la memoria reciente y los problemas para almacenar nueva información, olvido de palabras en el lenguaje espontáneo, desorientación espacial, dificultades en el cálculo y razonamiento, cambios frecuentes en el estado de ánimo, incluso síntomas depresivos. Se manifiestan ya dificultades para ejecutar tareas complejas, como trabajar, viajar, relacionarse socialmente, las actividades de ocio, etcétera.

En la fase confusional hay una afectación más grave de las funciones mentales, especialmente el lenguaje, con anomia o dificultad para encontrar las palabras, parafasias y dificultades en la comprensión. La amnesia anterógrada y retrógrada —la previa y la posterior a la enfermedad— se incrementan. Las dificultades espaciales, apraxias y agnosias son patentes. Aparecen las dificultades en actividades como viajar en transporte público, hacer la compra, cocinar o gestionar la economía del hogar.

En la etapa demencial, los pacientes presentan además un grave deterioro intelectual, emocional y comportamental. Cuando el doctor Alzheimer conoció a Auguste, esta se mostraba obsesionada con el orden, sufría alucinaciones y tenía delirios. La comprensión se limitaba a órdenes muy sencillas, y apenas se expresaba. Algunos pacientes, en esta etapa, llegan al mutismo, aunque también puede darse la tendencia a la repetición o ecolalia. El deterioro de las facultades mentales reduce lentamente la capacidad del enfermo para las actividades diarias, imposibilitando su vida autónoma. La enfermedad progresa lentamente y muchas personas mueren por otras causas antes de que los síntomas cognitivos sean incapacitantes.

Amnesias

El director de coral y tenor Clive Wearing (nacido en 1938) es un músico de talento indiscutible además de un gran experto en música antigua. Pero no lo recuerda. Sufre amnesia tanto anterógrada —déficit en la capacidad de recordar la información adquirida después de la lesión— como retrógrada —la que afecta a la capacidad de recordar los datos almacenados antes de la lesión—. Su vida cambió en cuestión de días en 1985. Tras unas jornadas de intenso dolor de cabeza, Wearing se encontró en la calle desorientado. No sabía cómo volver a casa, por lo que telefoneó a su esposa para que le ayudara. En el hospital detectaron que un herpes simple, un virus que habitualmente sale cerca de la boca, había conseguido alcanzar su hicocampo y le había provocado una encefalitis. Con el hipocampo seriamente afectado, desde aquel día Wearing es incapaz de formar nuevos recuerdos, de convertir la memoria a corto plazo en memoria a largo plazo, tal como le sucedía al paciente H. M. De hecho, es incapaz de retener cualquier nuevo recuerdo más de 30 segundos, por lo que revive constantamente la sensación de acabarse de despertar.

Como hemos dicho, la lesión también le supuso amnesia retrógrada, un trastorno cuya gravedad suele variar en función de la antigüedad de los recuerdos afectados, lo que se denomina «amnesia dependiente del tiempo». En el caso de Wearing, de su pasado solo recuerda que tiene esposa e hijos, seguramente debido a que consiguió preservar la amígdala, fundamental para la memorial emocional. Sin embargo, a pesar de todos estos déficits, y como le ocurría al paciente H. M., el músico puede seguir efectuando tareas procedimentales, como tocar virtuosamente el piano, caminar o atarse el cordón de los zapatos.

La historia de Wearing es sobrecogedora, como casi todas las de las personas que se ven afectadas por alguno de los muchos tipos de amnesia existentes, aunque no todos presentan el mismo grado de gravedad. Veamos algunos de ellos:

Estado de fuga

Este síndrome amnésico afecta a personas que aparecen en un lugar alejado de su domicilio habitual sin poder recordar lo sucedido, a pesar de que tienen el lenguaje y las memorias procedimentales preservadas. En este caso, la afectada es la memoria autobiográfica. Normalmente, estas personas atraviesan una situación de gran estrés, debido a conflictos familiares, pérdidas de seres queridos, problemas económicos o estados depresivos. De ahí que se emplee la palabra *fuga*, en el sentido de huida de su vida anterior y de lo que significaba para el afectado.

El estado de fuga presenta tres fases. En la primera, el paciente vaga por la calle, se desplaza sin consciencia de quién es y adónde va, con la memoria autobiográfica muy afectada. Esta fase suele ser corta —entre horas y días—, y termina cuando el paciente se plantea por qué está vagando. La investigación de pacientes en esta fase es escasa, ya que, al no ser conscientes de su trastorno, no acuden a profesionales hasta que el episodio no remite. De ahí que la información sea *a posteriori* y los informes, retrospectivos. Es frecuente que, a este episodio, le siga una segunda fase de amnesia retrógrada, con pérdida de pasado autobiográfico, aunque también hay informes de pacientes con una recuperación muy rápida. En una tercera fase, los afectados suelen recuperar la identidad personal y el pasado autobiográfico, si bien no lo vivido en la primera fase.

Amnesia global transitoria

Es una amnesia que dura menos de 24 horas y que suele presentarse por primera vez entre los 60 y los 70 años. La persona se mantiene consciente y orientada, no presenta alteraciones sensitivas ni motoras, y el lenguaje y el razonamiento están preservados. El paciente repite constantemente las mismas preguntas porque se siente incapaz de crear recuerdos a corto plazo, ya que la amnesia es anterógrada y afecta a lo sucedido después del episodio. En cambio, conserva la memoria a largo plazo en todas sus funciones.

Las causas de la amnesia global transitoria pueden ser varias y no están claramente identificadas. La hipótesis más aceptada es que se debe a una causa de tipo vascular, provocada por pequeños infartos isquémicos. También se supone como factor de riesgo la hipertensión vascular, la presencia de migrañas, el estrés y el excesivo esfuerzo físico. Los estudios con neuroimagen muestran un menor metabolismo en las áreas temporomediales y el hipocampo durante la fase aguda del episodio. La afectación del hemisferio izquierdo presenta alteraciones en la memoria verbal, mientras que la del hemisferio derecho se traduce normalmente en una pérdida de la memoria visoespacial.

Amnesia diencefálica

Este trastorno está originado por lesiones en diversas estructuras del diencéfalo, como el tálamo, los cuerpos mamilares o la circunvolución cingulada. La alteración más conocida de este tipo es el denominado síndrome de Korsakoff (véase el recuadro en la pág. 113).

En este tipo de amnesia es característica la fabulación o falsificación de los recuerdos, antes que admitir que no se recuerda un hecho; no obstante, estas fabulaciones son verosímiles, ya que se basan en experiencias reales del paciente. Las personas con síndrome de Korsakoff son poco conscientes de su

trastorno de memoria, de ahí su apatía por lo que sucede en su entorno. La causa del síndrome es una carencia de vitamina B1, también conocida como tiamina, asociada a una ingesta abusiva y prolongada de alcohol. Este déficit provoca la muerte de células en la línea media del diencéfalo, lo que afecta a las regiones mediales del tálamo y los cuerpos mamilares, así como al lóbulo frontal.

Amnesia del lóbulo temporal

También denominada «amnesia hipocámpica», está producida por lesiones bilaterales del hipocampo y la amígdala y se manifiesta en forma de una amnesia anterógrada grave —con notables déficits para las memorias semántica y episódica— y una amnesia retrógrada que afecta sobre todo a los 2 o 3 años previos a la lesión. En cambio, la memoria procedimental está mejor conservada, igual que la memoria inmediata. Los pacientes que sufren este tipo de amnesia son conscientes de sus limitaciones, y suelen esforzarse en buscar estrategias para compensar las carencias. El caso de H. M. estudiado por Brenda Milner, abordado en el primer capítulo de este volumen, y el de Clive Wearing son dos ejemplos de este tipo de amnesia.

Amnesia frontal

Es el trastorno de memoria debido a lesiones en el lóbulo frontal. Si recordamos que este es responsable de la atención y la memoria de trabajo, de la planificación, supervisión y evaluación, de la toma de decisiones y la resolución de problemas, así como del conocimiento de la propia persona, sus capacidades y sus debilidades y de las estrategias para afrontar los problemas, veremos que se trata de una amnesia que conlleva la pérdida de funciones ejecutivas fundamentales.

El síndrome de Korsakoff

Joe era un hombre de 62 años que fue hospitalizado tras detectar que su memoria estaba gravemente afectada. Su inteligencia era normal y no presentaba problemas sensoriales ni motores. Sin embargo, no podía decir por qué estaba en el hospital y solía afirmar que se encontraba en un hotel. Si se le preguntaba qué había hecho la noche anterior, respondía que había ido a tomar una cerveza con los muchachos [por sus amigos]. En realidad, había estado en el hospital, pero Joe describía lo que había hecho la mayoría de las noches de los 30 años anteriores a su ingreso. El paciente no estaba seguro de cómo se había ganado la vida, creía que había trabajado en una carnicería, pero en realidad había sido camionero en una empresa de reparto. En cambio, su hijo sí que era carnicero, así que de nuevo su fabulación se relacionaba con algún elemento de su vida. Su memoria de los acontecimientos inmediatos también estaba afectada.

Joe padecía el síndrome de Korsakoff, llamado así en honor a Sérguei Korsakoff, un médico ruso que en 1880 llamó la atención sobre este conjunto de síntomas ocasionado por el alcoholismo crónico y una alimentación con déficit de vitaminas.

El síntoma más evidente de la enfermedad es una grave pérdida de memoria, en la que se combinan una amnesia retrógrada y una anterógrada. Los pacientes de Korsakoff acusan la amnesia retrógrada con un gradiente temporal: muestran mayor afectación en la memoria de lo ocurrido en los últimos años y menor de lo que sucedió en tiempos más lejanos. Son pacientes conscientes y atentos, obedecen órdenes y siguen instrucciones, razonan y resuelven problemas, siempre que sea en el marco de la memoria de trabajo.

Los pacientes con este tipo de trastorno no son conscientes de sus dificultades de memoria y tienden a sobrevalorar sus capacidades mentales. Tampoco valoran adecuadamente el grado de dificultad de las tareas y las estrategias para abordarlas. Los trastornos son más patentes en la memoria episódica, mientras que la memoria semántica se conserva más preservada. La memoria prospectiva también está afectada, por lo que la persona muestra dificultades para programar y realizar acciones en tiempo futuro.

Amnesia postraumática

Es la alteración general del funcionamiento cerebral que suele provocar un traumatismo craneoencefálico, en que los lóbulos frontales y temporales son las áreas más susceptibles de sufrir daño. Este suele cursar acompañado de una laguna amnésica, que consiste en un lapso de tiempo, que puede abarcar desde los minutos previos al accidente hasta días y años atrás, en función de la gravedad de la lesión. También se da una amnesia anterógrada, cuya afectación depende de la gravedad de la lesión.

Los pacientes con traumatismo craneoencefálico grave presentan una evolución muy similar. Al sufrir el traumatismo pierden la consciencia, cuando se recuperan del estado de coma presentan una desorientación espaciotemporal y un estado confusional acompañados de amnesia. La amnesia retrógrada se va recuperando siguiendo una secuencia temporal, de la más antigua a la reciente, esto implica que los recuerdos más antiguos se conservan mejor y los más recientes se olvidan.

Una amnesia postraumática de más de dos semanas se asocia con una incapacidad residual de moderada a grave. Pero hay diferencias individuales y pacientes que se recuperan bastante bien más de un mes después. Las secuelas de los traumatismos en la memoria son particularmente significativas en personas jóvenes, por la frecuencia con que ocurren y las limitaciones para la vida personal que suponen. Conviene hacer notar que traumatismos craneoencefálicos leves pero repetidos, como sucede en algunos deportes como el boxeo, tienen efectos acumulativos y pueden llevar a deficiencias graves e incapacidades mentales.

Acabamos aquí el repaso a las amnesias más habituales. En el extremo opuesto al caso de Wearing con el que abríamos este epígrafe, encontramos a los pacientes que sufren alteraciones de las memorias por exceso, y no por defecto.

Memorias extraordinarias

En 1789, el doctor Benjamin Rush dejó testimonio del primer caso de síndrome *savant*, también conocido como síndrome del sabio, del que tenemos constancia. En su escrito Rush refirió la extraordinaria capacidad de Thomas Fuller, quien por una parte «apenas entendía nada, ni de índole teórica ni práctica, que fuera más complejo que contar» y por otra era un genio del cálculo. Entre otros ejemplos, Rush relató que cuando le preguntaron a Fuller cuántos segundos había en un año y medio, tardó menos de dos minutos en ofrecer la respuesta correcta: 47 304 000.

Tener una memoria prodigiosa concentrada en un ámbito acotado es característica del síndrome *savant*. Quienes lo sufren suelen presentar deficiencias y limitaciones graves en la mayoría de las funciones mentales, paradójicamente acompañadas de una extraordinaria competencia en un dominio particular que requiere una memoria fuera de serie. Las alteraciones de los circuitos nerviosos de estas personas las pueden hacer dependientes y necesitadas de cuidado para la vida diaria, a la vez que asombrosamente capacitados en campos como el cálculo, la música, el lenguaje, la historia, la geografía o la marquetería, entre otros. Tras analizar las características de más de 300 casos de síndrome del sabio en todo el mundo, los estudios del doctor Darold Treffert (nacido en 1932) revelan que este trastorno suele ser congénito en el 90 % de los casos, y a menudo está relacionado con el autismo. En el 10 % restante aparece durante la edad adulta, tras sufrir algún tipo de lesión cerebral, accidente o ictus: es el denominado «síndrome adquirido». Treffert estableció también una distribución por sexos: hay cuatro veces más *savant* hombres que mujeres.

Algunos *savant* pueden memorizar mapas, listines telefónicos o calendarios enteros con datos relevantes asignados a cada

«Rain man» y otros casos prodigiosos

Kim Peek (1951-2009) fue uno de los casos clínicos más famosos del síndrome *savant* debido al enorme contraste que se daba entre sus singulares habilidades intelectuales y su incapacidad para realizar las tareas más básicas de la vida. El personaje que interpretó Dustin Hoffman en la oscarizada película *Rain man* (1988) está inspirado en él. Peek nació con macrocefalia, considerablemente discapacitado, aunque con una memoria prodigiosa: podía recordar los 12 000 libros que había leído, leía dos páginas en ocho segundos y apenas tardaba una hora en memorizar un libro. Era capaz de retener con precisión la información sobre los más diversos temas, datos históricos, geografía, literatura... Sin embargo, casi no podía abrocharse la camisa y era una persona dependiente. No tenía aptitudes musicales, pero podía escuchar por primera vez cualquier canción y tocarla inmediatamente al piano. También era capaz de identificar al autor de miles de piezas musicales con solo escuchar la interpretación durante unos pocos segundos. Tenía en su cabeza un calendario de 10 000 años y era capaz de asociar la fecha de nacimiento de una persona con el día de la semana en que nació y el de su jubilación. Todos estos prodigios respondían a su capacidad de entretejer los detalles aprendidos en una red mental compuesta por miles de asociaciones e interconexiones distintas y personales.

La soprano **Gloria Lenhoff** (nacida en 1955) tiene el síndrome de Williams. Presenta un retraso mental grave. Es incapaz de cruzar sola una calle, de realizar una simple suma o de colocar vasos en un armario, pero tiene una capacidad musical portentosa y una expresión verbal más que notable. Además de deleitar con su voz, Gloria es capaz de tocar con gran maestría algunos instrumentos musicales como el acordeón, y cantar más de 2000 canciones en 25 idiomas gracias a su prodigiosa memoria musical.

uno de los días. También los hay que poseen habilidades mecánicas y espaciales que les llevan a medir distancias casi exactas sin ayuda de instrumentos. Con estos ejemplos, queda claro que no hablamos de un tipo de memoria que se pueda conseguir solo con la práctica de determinadas estrategias de asociación, tal como hacen los mnemonistas con el objetivo de asombrar a

Orlando Serrell (nacido en 1968) no presentaba ninguna capacidad especial hasta que, a los diez años, sufrió un traumatismo al recibir un fuerte impacto con una pelota de béisbol en el lado izquierdo de la cabeza. Cayó al suelo, pero se levantó y siguió jugando. No recibió ningún tratamiento y ni siquiera se lo comunicó a sus padres. Sufrió dolores de cabeza durante largo tiempo. Desde el accidente recuerda exactamente los días de aquella semana y el tiempo que hizo ese día, además de haber adquirido una enorme capacidad de realizar cálculos de calendario muy complejos. Serrell es un caso de síndrome *savant* adquirido y sin discapacidades graves.

Leslie Lemke (nacido en 1952) llegó al mundo prematuramente con serios problemas de visión y parálisis cerebral. Su madre lo dio en adopción a una enfermera. No podía masticar y tenía muchos problemas para alimentarse; hasta los doce años fue incapaz de mantenerse de pie y no aprendió a andar hasta los quince. Sin embargo, sentía atracción por la música y el ritmo desde pequeño, y a los dieciséis años su madre adoptiva descubrió sus dotes extraordinarias al encontrárselo tocando al piano el concierto nº 1 de Tchaikovsky: lo había escuchado en televisión. Desde ese momento, Lemke empezó a tocar todo tipo de música y en la actualidad ofrece conciertos regularmente y realiza giras por varios países.

Daniel Tammet (nacido en 1979) escribió unas memorias relatando cómo la epilepsia, la sinestesia y el síndrome de Asperger le acompañaron durante toda su infancia, y cómo es vivir con el síndrome del sabio. Su historia, la de un joven muy capaz, con pareja, trabajo y amigos, ha permitido matizar la imagen que la población tiene de los *savants* como de genios altamente discapacitados. La habilidad asociativa de Tammet le permitió aprender islandés, un idioma muy complejo, en tan solo una semana, y a día de hoy habla once lenguas: inglés, francés, finlandés, alemán, español, lituano, rumano, estonio, islandés, galés y esperanto. Como se menciona en el texto, fue capaz de memorizar en una semana el número Π con más de 22 500 dígitos, y empleó cinco horas en recitarlos de memoria.

las audiencias de los espectáculos. No es algo que sencillamente pueda aprenderse. Veamos un ejemplo. Supongamos que un mnemonista debe superar una prueba consistente en memorizar la mayor cantidad de números del infinito de cifras que incluye la constante matemática Π (3,1415...). El buen mnemonista probablemente optará por aplicar la estrategia de asociar, por ejemplo,

números con notas musicales y cantar la serie de números. Pero, por muy habilidoso que sea, no conseguirá igualar ni de lejos la hazaña del *savant* Daniel Tammet, que en el año 2004 recitó de memoria durante cinco horas más de 22 500 decimales de la famosa constante echando mano a su sinestesia, un cruce curioso de los sentidos que le permite asignar formas, sonidos, color y texturas a los números.

Las estrategias de asociación que emplean los *savant* son siempre personales. Esto es así porque, además de la capacidad de concentración que se les presupone a estas mentes extraordinarias, los límites de su memoria de trabajo dependen sobre todo de la importancia y significación que puedan asignar a la información memorizada para asociarla, así como de la facilidad para integrarla en los conocimientos que la persona posee. De esta manera, un experto en ajedrez puede recordar la posición de muchas más piezas en el tablero que un principiante. Y la misma lógica nos explica el caso del director de orquesta Arturo Toscanini, que llegó a memorizar más de 350 partituras. Se cuenta que, en una ocasión, justo antes de iniciar un concierto, el primer fagot se acercó angustiado al director porque se había roto una de las llaves del instrumento. Después de un momento de concentración, Toscanini tranquilizó al músico, puesto que mentalmente había comprobado que la nota en cuestión no aparecía en el programa de esa noche.

El origen de estas capacidades excepcionales no está del todo claro a pesar de los avances realizados en algunos casos, como en el síndrome de Williams, una enfermedad genética rara, cuyos pacientes pueden desarrollar un extraordinario talento musical. Se han conjeturado diversas teorías basadas en desarrollos extremos, como un déficit del hemisferio izquierdo que viene a compensar el hemisferio derecho; un mayor desarrollo de áreas

visuales en densidad neuronal y conexiones sinápticas; ciertas estrategias de memorización basadas en imaginación visoespacial; una organización atípica de la memoria semántica; mayor desarrollo de áreas cerebrales implicadas en las emociones y comunicación social; y a nivel más molecular y neuronal se conjetura una posible alteración en las síntesis de proteínas, con incremento en determinadas zonas y déficit en otras.

Como demuestra el caso de Tammet, no todas las memorias prodigiosas van de la mano de una incapacitación para la vida cotidiana. El psicólogo Alexander Luria escribió dos libros imprescindibles sobre el tema de las memorias extraordinarias —*La mente de un mnemonista* y *El hombre con su mundo destrozado*—, en los que intentaba comprender la vida mental de los pacientes incapaces de olvidar. Véamoslo en el estudio que Luria llevó a cabo sobre el caso de Shereshevski.

S. V. Shereshevski (1886-1958) era un periodista ruso dotado de una extraordinaria capacidad para formar recuerdos explícitos que no podía olvidar. En las reuniones de trabajo del periódico nunca necesitaba tomar notas como sus compañeros, lo que llamó la atención del director. Pero S., como lo denomina Luria en sus estudios, no se veía diferente, si bien se preguntaba por qué otras personas necesitaban tomar tantas notas escritas. A petición de su director, acudió a un psicólogo y así fue como entró en contacto con Luria, quien estudió su evolución durante 30 años y narró sus conclusiones en el primero de los libros citados, *La mente de un mnemonista*. A lo largo de esas tres décadas, S. memorizó multitud de tareas que no olvidaba. La capacidad para recordar dependía de tres procesos: podía visualizar los estímulos mentalmente, recordarlos al leerlos en esa imagen interna y tenía impresiones multisensoriales de las cosas. Esta capacidad se conoce como «sinestesia» —ya nos salió al paso cuando hablábamos de Tammet y

su talento para recordar dígitos de la constante Π— y mediante ella S. registraba una palabra como un sonido, un color, un olor, un gusto, una textura, una temperatura... En palabras de Luria:

> Convertía fácilmente cualquier impresión, incluso palabras percibidas acústicamente en imágenes ópticas estrechamente relacionadas con otras sensaciones como sonidos, gustos y sensaciones de calor. Esas sensaciones tenían una notable estabilidad y evocaban imágenes o complejos de sentimientos interconectados sinestésicamente, y sus rasgos quedaban fijados. Recuerdo un día en el que fuimos juntos al laboratorio del fisiólogo ruso L. A. Orbeli. «¿No habrá olvidado el camino?», pregunté a Shereshevski, olvidándome yo de que él conservaba siempre sus impresiones. «Oh», contestó él, «no puedo olvidarlo»; «¡esta cerca verde es tan salada!». Al ver a Vigotski, le dijo: «¡Tiene usted una voz tan amarilla y desmenuzable!». En otra ocasión me contó que una vez que quiso comprar helado, la vendedora le preguntó con voz profunda: «¿Lo prefiere de chocolate?». La voz le sonó tan terrible que mentalmente vio el helado cubierto de manchas negras y fue incapaz de probarlo.

Con este procedimiento podía mantener imágenes en su mente y las asociaba con material nuevo que quería recordar. Cuando S. no recuperaba un recuerdo, no era porque lo había olvidado, sino porque estaba oculto a su vista interior, aunque normalmente acababa por encontrarlo. Esta extraordinaria capacidad de memoria a largo plazo también tenía sus inconvenientes: Luria caracteriza a S. como superficial y con metas limitadas, también con problemas para categorizar, ordenar y razonar, con serios problemas para comprender metáforas y el sentido de la poesía.

> «¿Qué es la eternidad? [Se preguntaba S.] Veo el espacio, un periodo de tiempo... pero ¿qué sigue?... ¿y qué es dialéctica?... ¿y cómo puedo comprender la unidad de oposiciones? Llega una nube y se pone en contacto con otra... No, ¡realmente no puedo captarlo!» Las relaciones tan frecuentemente expresadas por jóvenes permanecieron con él a lo largo de su vida, y aquí su fantástica memoria e imaginación entraban en conflicto con lo que se requería para su pensamiento abstracto.

Sin duda, la memoria a corto plazo y la de trabajo de S. estaban limitadas, y sin ellas era incapaz de clasificar, ordenar, evaluar y tomar decisiones adecuadas.

Aunque a menudo se los considere «máquinas», las investigaciones realizadas sobre *savants* apuntan a que la actividad cerebral de estos se parece mucho más a la de una persona común que al funcionamiento de un ordenador, una analogía muy habitual a la hora de acercarse a la memoria, y poco acertada, como expondremos a continuación.

El efecto Google: ¿qué alteraciones implica el uso de internet?

Marshall McLuhan publicó en 1964 un libro titulado *Comprender los medios de comunicación*, en el que planteaba que los medios de masas del siglo xx (prensa, teléfono, radio, cine, televisión) estaban modificando nuestras mentes. Habíamos vivido desde el siglo xv en la «Galaxia de Gutenberg», y gracias al maravilloso invento de la imprenta nos habíamos sumergido en los libros, en una lectura silenciosa, privada, motivada por el placer o la obligación, pero en todo caso abstraída y crítica. Y en este contexto,

McLuhan interpretaba la implantación de los medios de masas del siglo XX como una amenaza para esa mente lineal, atenta, concentrada, en diálogo del lector con el escritor.

«El medio es el mensaje» era la máxima de McLuhan, quien advertía de que los medios de masa supondrían un gran cambio en la recepción de la información y en la adquisición de conocimientos. Se abrió entonces el debate sobre la bondad de los medios. Los entusiastas argumentaban que la llegada de estos era una buena noticia para el desarrollo y la democratización de los bienes culturales. Los más escépticos, en cambio, los criticaban, por cuanto suponen de empobrecimiento de los contenidos y de decadencia de la cultura.

Pero la visión de McLuhan iba más allá. La cuestión principal no era debatir sobre el nivel cultural de los medios, sino sobre los medios mismos. La naturaleza de los medios era lo importante: cómo los medios cambiarían nuestra mente, la forma de percibir la realidad, razonar, valorar, tomar decisiones, resolver problemas. La amenaza era pasar de una mente lineal, discursiva, analítica, crítica, conformada por la lectura, a una mente fragmentada, bombardeada por informaciones, sin tiempo para analizarlas, sin criterios para enjuiciar, sin someter a crítica los criterios mismos. El peligro tenía un nombre: «exceso de informaciones y déficit de conocimientos».

En relación con este tema, el lingüista y escritor Umberto Eco publicó también en 1964 *Apocalípticos e integrados*, en el que exponía la doble postura ante la cultura de masas. Por un lado, los apocalípticos la consideran como una anticultura que surge en un momento de relevante presencia de las masas en la vida social. Para estos, la cultura de masas no es algo pasajero, sino que constituye el signo de la caída irrecuperable del hombre de cultura, destinado a la extinción. El fenómeno solo puede

expresarse en términos apocalípticos. En contraste tenemos la reacción de los integrados. Puesto que la televisión, la prensa, la radio, el cine, el teléfono, la novela popular o el *Readers's Digest* ponen los bienes culturales a disposición de todos, haciendo amable y liviana la asimilación de la información, estaríamos viviendo una época de ampliación y desarrollo cultural. Que esta cultura sea confeccionada desde arriba para consumidores indefensos no supone una preocupación para los integrados. Así, mientras los apocalípticos sobreviven elaborando teorías sobre la decadencia cultural, los integrados prefieren actuar y producir cotidianamente sus mensajes.

El mismo debate se plantea hoy con las nuevas tecnologías, especialmente con internet. Las posturas se sitúan en un contínuum desde los más entusiastas y optimistas a los más pesimistas y críticos. Desde quienes ven una nueva era de avances en todos los ámbitos del saber y del ser, en los conocimientos y habilidades, en el desarrollo personal y social, hasta quienes, en el otro extremo, presagian una época de mediocridad, pobreza cultural, individualismo y narcisismo. Pero la cuestión vuelve a no estar centrada en los contenidos de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación; en argumentar sobre la relevancia de las programaciones y aplicaciones múltiples; en controlar su utilización para tenerlas bajo control, la cuestión está en las mismas tecnologías, en cómo internet está cambiando nuestros cerebros, nuestros procesos mentales, y particularmente nuestra memoria. En resumen, la clave se halla en comprender las implicaciones del ya conocido como «efecto Google», esto es, la tendencia a no guardar y almacenar en nuestra memoria las informaciones que podemos encontrar fácilmente en internet.

B. Sparrow, J. Liu y D. Wegner publicaron en 2011 un estudio sobre los efectos del uso de Google en la memoria, y las conse-

Figura 14: La delegación en una memoria externa. El denominado «efecto Google» hace referencia a la tendencia cada vez más habitual a no almacenar en nuestra memoria las informaciones que podemos encontrar fácilmente en internet.



cuencias que puede tener en los procesos cognitivos el disponer de las informaciones rápidamente, solo con teclear unas letras en el ordenador. Nos hemos acostumbrado a buscar la información que deseamos a golpe de clic, en múltiples ocasiones y circunstancias a lo largo del día, en contextos de trabajo, ocio y ocupaciones diarias. Pero ¿cómo afecta este cambio a nuestra manera de aprender y memorizar?

La información susceptible de almacenarse en la nube abarca todos los ámbitos de la memoria declarativa excepto el personal, desde los conocimientos más científicos del mundo natural y social hasta los cotilleos y chismes más irrelevantes. La potencia de los buscadores puede hacernos ver como innecesarios los esfuerzos para codificar y almacenar determinados datos. A algunos les puede parecer ya carente de sentido aprenderse las capitales del mundo, los ríos de Europa, etcétera. Incluso habrá quien considere que no es necesario leer *Fedro* para conocer la postura de Sócrates, expuesta por Platón, sobre los efectos de la lectura y escritura en la memoria de las personas. De esta manera, internet se está convirtiendo en la extensión de la propia memoria, en una memoria expandida que no tiene límites. Una prótesis mnemó-

nica digital, omnipotente para nuestra memoria personal limitada... y con tantos déficits.

En el estudio mencionado se pidió a estudiantes de Harvard, Columbia y Wisconsin que leyesen unas informaciones y curiosidades típicas de revistas de ocio y se les dio la instrucción de recordarlas. A un grupo de estudiantes se les garantizó que podrían acceder a la información, guardada en un ordenador y en un archivo de fácil acceso. A otro grupo se le comunicó que las informaciones se borrarían una vez memorizadas. Y a un tercer grupo se le dijo que los datos iban a estar disponibles, pero en un archivo más difícil de encontrar. Finalmente, se comprobaron los recuerdos de los tres grupos y los resultados fueron muy ilustrativos: quienes creían que podían consultar fácilmente el ordenador no se habían esforzado en recordar los datos; los que más datos retuvieron fueron los miembros del grupo conocedor de que los datos no estarían disponibles en el ordenador; en la zona media estaban los que pensaban que podían acceder al contenido de las informaciones, si bien de una manera más complicada. Es decir, si tenemos plena confianza en Google para encontrar los datos que nos interesan, delegaremos en el buscador y nos ahorraremos el esfuerzo de aprenderlos y recordarlos. De esta manera, la información no se registra en nuestra memoria personal, biológica y neuronal, sino que se registra en la memoria externa, digital y artificial. Lo que sugiere la pregunta: ¿qué consecuencias tiene esto?

En la década de 1980, D. Wegner ya había teorizado sobre los procesos de delegación de la memoria. En este sentido, propuso el concepto de «memoria transactiva», que tiene lugar cuando en un grupo de trabajo, una persona se despreocupa de aprender y retener los conocimientos que otra persona del grupo posee. La memoria transactiva es, pues, una delegación de la memoria personal para optimizar la resolución de problemas y la toma de

decisiones. Estos procesos de delegación son muy frecuentes y han estado muy presentes durante toda nuestra historia, desde la delegación en el experto cazador, que sería el equivalente de hace 100 000 años a la que hoy hacemos en el experto mecánico para que repare nuestro coche, lo que nos supone una mayor eficiencia, a cambio de la pérdida de competencias personales. En cualquier caso, son muchos los que consideran que la delegación en las memorias especializadas de los miembros del grupo son positivas desde el momento en que incrementan la eficacia y rendimiento del conjunto. Sin embargo, cuando confiamos en internet no estamos delegando en otra persona, en una inteligencia natural.

La memoria externa y artificial es muy distinta de la personal biológica; como son muy diferentes el cerebro digital de un ordenador y el cerebro vivo de una persona. El cerebro digital absorbe la información, la guarda de inmediato en su memoria, y la recupera íntegramente, cuantas veces se quiera, sin modificación alguna. En cambio, el cerebro humano continuamente está elaborando la información, reconstruyendo los recuerdos. Cuando traemos a la memoria de trabajo una memoria guardada a largo plazo, se establecen nuevas conexiones en un contexto de experiencia distinto y siempre novedoso. El cerebro que recuerda ya no es el mismo que elaboró los recuerdos.

Por otra parte, las conexiones de la red no se parecen en absoluto a las conexiones neuronales. Nuestro yo, nuestra personalidad, se sustenta en nuestras memorias. Los conocimientos y habilidades que el cerebro está continuamente elaborando en la asimilación de la cultura generan a su vez nuevos productos culturales en continua realimentación cerebro-mente-cultura.

Dado que los mecanismos subyacentes a ambas memorias son tan diferentes, es normal que el abuso del artificial acabe

provocando disfunciones en el natural. Actualmente podemos hablar de una sobrecarga cognitiva de nuestras memorias de trabajo, y esto comporta problemas, porque no controlar la atención y focalizarla en problemas superfluos dificulta los procesos de memoria y aprendizaje, tal y como avalan algunos estudios recientes. Aún recordamos cómo, en los últimos años del siglo xx, en el marco de las reformas educativas, se vivió con optimismo la introducción de la informática en las aulas. Los profesores valoraban los hipervínculos y los hipertextos como medio para optimizar los procesos de enseñanza y aprendizaje: el hipertexto facilitaría la adquisición de conocimientos, el pensamiento crítico y la motivación por el saber. Sin embargo, pronto aparecieron estudios que rebajaban ese entusiasmo. Navegar a través de hipertexto suponía realizar tareas exigentes que interferían en la comprensión y retención del texto, de modo que los lectores de hipertextos pasaban por las páginas sin prestar la atención requerida, y tenían más problemas en recordar lo que habían leído.

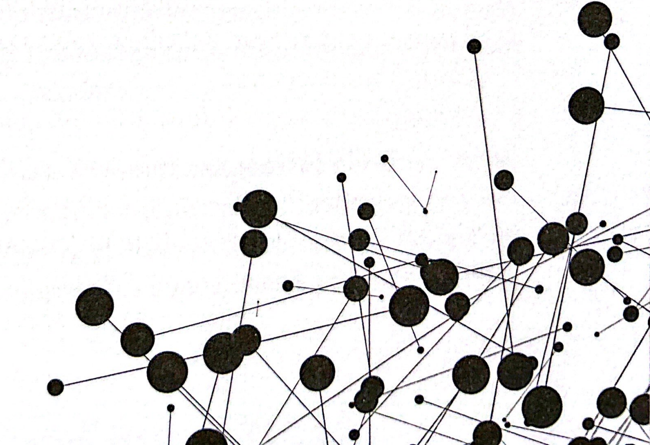
La navegación por internet implica una multitarea intensiva, por lo que la red supone un sistema de interrupción de la atención sostenida y focalizada. Constantemente estamos cambiando de objetivos, con la atención dividida y controlando la interferencia de estímulos. Nos reclama atención de manera incesante, lo que conlleva una interrupción de los pensamientos. Las múltiples aplicaciones nos avisan, al momento, de la entrada de mensajes; las redes sociales nos advierten de dónde están y qué hacen nuestras amistades al minuto; nos llega información de los servicios más cercanos que podamos requerir: aparcamientos, restaurantes, etcétera. Según las aplicaciones que descarguemos podemos recibir decenas de alertas cada hora. Y no resulta fácil con tanta interferencia y distracción mantener focalizada la atención y la memoria de trabajo. El problema está en que realmente deseamos

que nos interrumpan, porque cada alerta es una llamada para recibir una información que nos interesa. Bloquear las alertas o desconectar el móvil nos resulta insoportable, nos dejaría aislados socialmente.

Actualmente, la neurociencia estudia si las nuevas tecnologías están modificando nuestro cerebro, pero aún no disponemos de una investigación concluyente al respecto, como sí ocurre con la lectura. El cerebro del lector es diferente del cerebro de una persona analfabeta. La lectura y escritura hicieron su aparición hace 6000 años y cambiaron los cerebros de las personas. Áreas neuronales que durante 200 000 años de la historia del *Homo sapiens* estuvieron dedicadas a otras funciones, se tuvieron que «reciclar» para realizar las nuevas tareas de lectura y escritura. De igual forma, las nuevas tecnologías deben de estar cambiando el cerebro, pero las características de estos cambios no se identificarán hasta que haya transcurrido el tiempo. Además, es razonable pensar que las modificaciones serán diferentes en la infancia y adolescencia de los nativos digitales que se socializan con las nuevas tecnologías, que en los que somos adultos y emigrantes digitales. En mi opinión, los cambios suponen ganancias y pérdidas: determinados procesos mentales como el rendimiento multitarea, la localización, clasificación y evaluación de información, la percepción e imaginación y habilidades visoespaciales están entre las ganancias; sin embargo, la atención focalizada y sostenida, el pensamiento argumentado, crítico y reflexivo pueden verse afectados negativamente.

La nueva tecnología informática no solo puede llegar a alterar nuestros procesos habituales de memorización, sino que es también la gran esperanza en el ámbito de las principales investigaciones que a corto plazo se plantean sobre los trastornos de la memoria.

EPÍLOGO



Las investigaciones sobre el cerebro, y particularmente sobre los procesos mentales y la memoria, se realizan actualmente con tecnologías muy complejas y sofisticadas según los diferentes niveles de análisis, desde el nivel más micro al macro: molecular, neuronal, circuitos, redes, sistemas cerebrales. En la actualidad existen tres grandes y ambiciosos proyectos en marcha: el Human Connectome Project, el Brain Initiative —ambos con sede en Estados Unidos— y el Human Brain Project —radicado en Europa. El objetivo común es conocer mejor la estructura y organización funcional del cerebro, cartografiarlo y lograr la descripción más completa posible de su funcionamiento en los distintos niveles señalados. En otros países, como China y Japón, se desarrollan también macroproyectos similares. Se estima que en el mundo hay más de 10 000 institutos, laboratorios y centros de investigación en neurociencia, y las publicaciones anuales sobre la materia superan las 60 000. Unos datos que, en su conjunto, nos demuestran el interés creciente de los estudios de la memoria en todo el mundo. Veamos brevemente qué nos depara la investigación sobre esta materia en la próxima década:

El Human Connectome Project: mapear el cerebro. Aprobado en el año 2009 y financiado por varias instituciones y organismos estadounidenses, el Human Connectome Project se propone identificar y mapear las conexiones y redes neuronales

del cerebro. Se trata de un proyecto muy ambicioso en el que participan equipos de investigación de numerosas universidades y países, pero que requiere de avances ulteriores en tecnologías tales como la resonancia magnética. Sin embargo, sus responsables son optimistas porque estos avances no han dejado de producirse desde la aprobación del proyecto. La complejidad del cerebro es impresionante, con 100 000 millones de neuronas y una media de 10 000 conexiones por cada una, lo que arroja un total aproximado de 1000 billones de conexiones; la neurona puede tener hasta 20 dendritas y cada dendrita, miles de espinas dendríticas, mientras que la estimación de la longitud de los axones llegaría a 150 000 kilómetros. Para que nos hagamos una idea de la dimensión del proyecto, conviene explicar que el primer conectoma disponible es de un gusano que tiene 300 neuronas y 7000 conexiones, y para lograrlo Sydney Brenner y su equipo necesitaron diez años de trabajo. Por sus hallazgos, Brenner obtuvo el Premio Nobel de Medicina en 2002. Los mencionados avances en tecnología y nuevos modelos de investigación están reduciendo los plazos en el estudio del conectoma de otras especies.

¿Qué puede ofrecernos este proyecto? Este marco de investigación apunta más allá del conocimiento del cerebro medio. Diversas investigaciones han confirmado que cada persona dispone de un perfil de conexiones característico, y que estos neuroperfiles personales pueden revelar información sobre las capacidades mentales, los mecanismos del funcionamiento normal del cerebro y los de aquellos que presentan alteraciones. En un estudio de 2016 dirigido por M. Glasser y D. van Essen, con colaboración de distintas universidades y países, y publicado en *Nature* (vol. 536), se definen distintas regiones en la corteza cerebral, utilizando una combinación de técnicas que hasta ahora solo se habían empleado por separado: la resonancia magnética funcional basada en

tareas, la resonancia magnética funcional en estado de reposo, y la resonancia magnética por tensor de difusión. El resultado ha dado una cartografía cerebral que identifica 180 áreas en cada hemisferio, por tanto, proporciona un atlas del cerebro humano con 360 zonas. Sin duda, con el tiempo estas regiones podrían subdividirse en unidades menores, y la aparición de nuevas tecnologías con mayor sensibilidad proporcionará muy probablemente información de nuevas áreas.

Pero la gran innovación del estudio consiste en conseguir un algoritmo para delinear áreas corticales a escala individual, que es una tarea más compleja que lograr un mapa medio del cerebro. Este planteamiento podría proporcionar un conocimiento fundamental para determinar biomarcadores de disfunción y trastornos cerebrales, y al mismo tiempo un valor predictivo de las diferencias individuales en la conducta normal y en la patológica. En definitiva, tendremos una neurociencia cada vez más orientada al individuo, más personalizada. De la misma manera que todos tenemos un genoma específico y diferencial, también disponemos de un conectoma, una conformación neural única y propia.

El Human Brain Project: la reproducción tecnológica del cerebro humano. El Human Brain Project se puso en marcha en el año 2013, con el propósito de prolongarse durante una década. Es un proyecto médico-científico y tecnológico financiado por la Unión Europea que tiene como fin reproducir tecnológicamente las características del cerebro humano, con la vista puesta en conseguir avances en el campo de la medicina, la neurociencia, la inteligencia artificial y la robótica. Es un proyecto neurocientífico muy ambicioso, con subproyectos muy complejos que implican a más de 150 centros de investigación de la Unión Europea, y con un presupuesto multimillonario. Su objetivo es desarrollar

tecnologías y métodos que posibiliten la comprensión y la explicación del funcionamiento cerebral. Para que este proyecto pueda alcanzar sus objetivos es necesario que avance la investigación en nuevas tecnologías de supercomputación, que permitirían utilizar la información en modelos informáticos y simulaciones del cerebro para identificar patrones y principios organizativos, de modo que se puedan integrar los resultados de miles de investigaciones con diversas tecnologías y distintos niveles de análisis, desde el molecular a los sistemas cerebrales.

El conocimiento que se vaya generando será clave para el desarrollo de nuevos instrumentos de diagnóstico e intervención en medicina, y también en tecnologías de la información en general. Se inicia con la puesta en marcha de seis plataformas de investigación, cada una con herramientas y métodos específicos. Las plataformas son: neuroinformática, simulación del cerebro, computación de altas prestaciones, informática para la medicina, computación neuromórfica y neurorrobótica. Los investigadores tendrán a su disposición un volumen ingente de datos, que se publicarán en miles de artículos científicos. Toda esta información permitirá desarrollar la plataforma de simulación del cerebro.

Con este proyecto se espera reducir la distancia entre neurociencia básica y neurociencia aplicada y práctica clínica. En Europa viven 180 millones de personas con enfermedades cerebrales, por lo que la urgencia clínica y la demanda social de investigación básica sobre trastornos mentales es evidente. Pero, además, el proyecto europeo quiere aprovechar todos los datos para crear una simulación del cerebro y robots de alto rendimiento.

Dado que el ya citado proyecto estadounidense y este europeo no tratan de competir por alcanzar la luna como sucedió en tiempos pasados entre Estados Unidos y la Unión Soviética, cabe espe-

rar que se produzca un intercambio fluido de información y una intensa colaboración entre investigadores. El problema a corto plazo está en la limitación de los ordenadores, que no tienen capacidad para procesar la enorme cantidad de datos que los proyectos proporcionarán. Uno de los superordenadores más potentes se encuentra en Japón, y es capaz de simular la actividad de 1800 millones de neuronas conectadas a través de 10 000 millones de sinapsis. Piénsese en lo lejos que está de los 100 000 mil millones de neuronas y 1000 billones de conexiones del cerebro humano de los que hablábamos. Se espera que en la próxima década estén disponibles superordenadores novedosos y mucho más potentes.

El Brain Initiative: descifrar la estructura cerebral. El proyecto BRAIN (Brain Research through Advacing Innovative Neorotechnologies) fue impulsado en 2013 por el entonces presidente de Estados Unidos, Barack Obama. Es una iniciativa catalogada como el equivalente del Proyecto del Genoma Humano. La primera fase se dedica a descifrar la estructura cerebral para entender sus funciones y procesos mentales: la percepción, la memoria, el control de los movimientos, el lenguaje, el pensamiento y las emociones. En una segunda fase, se estudiará la actividad neuronal y se podrá visualizar la dinámica de los circuitos, que es donde se ocasionan muchas enfermedades neurológicas, déficits mentales y trastornos del comportamiento. A más largo plazo, después del desarrollo del mapa cerebral y sus fases de investigación, se podrán aplicar las técnicas para diagnóstico e intervención en enfermedades cerebrales y trastornos mentales. Esto requerirá de mucha investigación básica y estudios clínicos, pero a medio plazo se espera conseguir grandes avances aplicados a la optimización de las capacidades, prevención de enfermedades y trastornos mentales, tratamiento y recuperación de pacientes.

La apuesta por resolver el problema fundamental de la neurociencia está en cómo se organizan y funcionan miles de millones de neuronas y billones de conexiones, hasta formar redes neuronales y sistemas cerebrales que posibilitan los procesos mentales. Para acercarse a estos objetivos se requieren instrumentos de alta tecnología y equipos multidisciplinares que incluyan ámbitos diversos como la genética, la óptica, la nanotecnología, la biología molecular.

La producción de psicofármacos que potencien la memoria. Como se ha dicho ya, Eric Kandel recibió el Premio Nobel por su investigación sobre el aprendizaje y la memoria en el caracol marino *Aplysia.* Averiguó que el aprendizaje depende de los neurotransmisores en las sinapsis y la activación de una determinada proteína, la CREB. Se demostró que esta proteína era crítica para la formación de la memoria en otros animales, como la mosca y los ratones. En 1998 se creó la empresa de Kandel Memory Pharmaceuticals, con el objetivo de producir fármacos que incrementaran la CREB en la memoria humana y facilitaran la memoria a largo plazo.

Kandel puso así la primera piedra en el camino. Hoy en día muchos de los fármacos calificados como «inteligentes» se encuentran en la fase de ensayo clínico previa a su comercialización. Otros medicamentos, que ya están disponibles para los pacientes con déficits cognitivos, pueden incrementar la inteligencia de la población sana. Sin embargo, el potenciamiento del cerebro con la ayuda de fármacos plantea serios problemas, porque ningún medicamento carece de efectos secundarios. La neurociencia no ha avanzado lo suficiente para actuar específica y exclusivamente sobre un problema concreto, y toda sustancia tiene sus costes y riesgos. El uso de fármacos u otras técnicas neurocientíficas implica riesgos de consecuencias no deseadas.

Además, existe preocupación por los impactos sociales que la mejora cerebral, generalizada o en sectores concretos de la población, pudiera generar, ya que afectaría a nuestra forma de vivir, y a nuestros valores y pautas de comportamiento. Podrían generarse, por ejemplo, nuevas formas de discriminación en el campo académico o profesional. Por añadidura, las aplicaciones de los avances neurocientíficos en inteligencia artificial y robótica despiertan un amplio abanico de temores, que van desde las posibles pérdidas masivas de empleo a la misma supervivencia de nuestra especie.

A pesar de todas estas dudas, las investigaciones continúan imparables. Los nuevos conocimientos sobre genética y neurobiología están posibilitando valiosos estudios experimentales y ensayos clínicos con nuevos fármacos. Se han descubierto varios sistemas de potenciación cognitiva (nootrópicos). Cada vez que un estudio muestra que un determinado agente químico puede generar un incremento de la memoria en una población animal, ya sea la mosca o la rata, suele suceder que, si el fármaco no está en el mercado para otros usos, alguna empresa farmacéutica se lance a crear un nuevo producto que explote el hallazgo; si el fármaco ya existe para tratar una enfermedad conocida, como el alzhéimer o déficit de atención, aumenta repentinamente su uso.

El futuro de la estimulación cerebral. Otras técnicas para mejorar las funciones cerebrales próximas a aplicarse están basadas en la estimulación magnética transcraneal y en la estimulación cerebral profunda. La primera es una técnica no invasiva que estimula mediante campos magnéticos las redes neuronales de determinadas áreas cerebrales. Con este método se han realizado estudios sobre memoria, déficit de atención e hiperactividad, y funciones ejecutivas en personas con trastorno, y los

investigadores se plantean ahora si los resultados de mejoras podrían ser aplicables a personas saludables.

Por el contrario, la estimulación cerebral profunda es una técnica muy invasiva, pues consiste en introducir electrodos en el interior del cerebro, conectados a una batería o neuroestimulador, para activar determinadas redes neuronales responsables de procesos mentales alterados. Se están realizando estudios y pruebas con personas afectadas de patologías diversas, como parkinson, depresión y trastorno bipolar.

El empleo de la optogenética. Los métodos optogenéticos se basan en la inserción en las neuronas de genes exógenos que codifican proteínas sensibles a la luz. Estas proteínas permiten modificar el comportamiento a nivel celular mediante la presencia o la ausencia de luz. Al proyectar una luz láser, mediante una fibra óptica en el cerebro, se activan las neuronas. Introducir esta proteína en el cerebro de un ratón, por ejemplo, requiere de ingeniería genética. Primero se debe identificar el gen que codifica la proteína y su promotor (un fragmento de ADN que permite la transcripción y por tanto la activación de un gen), luego inyectarlo en un virus y después inyectar este virus en el cerebro del ratón para que infecte sus neuronas y añada a su ADN este gen. Una vez que se expresan estos fragmentos en el interior celular, las neuronas afectadas pasarán a contar con estos canales que se activan con luz azul, que es proyectada por un cable de fibra óptica.

En una investigación reciente se utilizó la optogenética para estudiar la amnesia. Se realizó sobre dos grupos de ratones, uno sano y otro genéticamente modificado, incapaz de recordar. Colocados en una caja donde recibían descargas eléctricas, los ratones sanos aprendían por condicionamiento operante a evitar

esas descargas, mientras que los transgénicos olvidaban lo experimentado y no aprendían a reaccionar. Entonces, mediante optogenética, se activaron las neuronas del hipocampo de los ratones amnésicos, y consiguieron superar la amnesia. Los resultados son, pues, muy prometedores para la potenciación y recuperación de las capacidades memorísticas, pero no debemos olvidar que la investigación optogenética está en una fase experimental con animales, y que se necesitarán más investigación y ensayos clínicos hasta que sea aplicable en humanos.

La prometedora conexión cerebro-máquina. Los implantes cerebrales y la conexión cerebro-máquina forman uno de los principales ejes de investigación en neurociencia. Ya hay disponibles muchas aplicaciones para sentidos como la visión y la audición, e incluso para el movimiento. Los implantes sensoriales y motores han permitido sustituir órganos de los sentidos, captando la estimulación del entorno y enviando la señal al sistema nervioso; el implante coclear, por ejemplo, ha permitido que muchas personas recuperen la capacidad de oír y, cuando son niños, de hablar. Hay implantes más profundos en el tronco encefálico, conocidos como oídos biónicos. Asimismo, los implantes de la retina permiten que un detector de luz convierta la señal visual en impulsos eléctricos y los envíen al nervio óptico. Sin duda, en un futuro próximo los implantes cerebrales serán tan frecuentes como hoy lo son los implantes cardiacos.

E incluso transplantes neuronales. Los transplantes neuronales son ya posibles, aunque no son tan exitosos como los de otros órganos: se puede transplantar tejido de encéfalos embrionarios que desarrollan nuevas conexiones en el cerebro receptor, pero sin conseguir los resultados esperados. Parece una técnica

especialmente apropiada en aquellos casos en que se requiere una pequeña cantidad de células funcionales, como cuando se reemplazan células que producen dopamina en los tratamientos de la enfermedad de Parkinson.

Hemos comentado que la experiencia favorece la generación de neuronas nuevas, por lo que otro reto es conseguir potenciar en el cerebro la neurogénesis, especialmente después de una lesión u operación quirúrgica. Se está estudiando cómo lograr factores tróficos adecuados para la generación de neuronas y sinapsis. Sabemos que el hipocampo, tan fundamental para la memoria, produce neuronas nuevas, incluso a edades avanzadas, y que la cantidad de neuronas y sinapsis depende de la experiencia. Cabe plantear la estimulación de la producción de neuronas nuevas en regiones de cerebros lesionados, para que estas neuronas estimulen la formación de nuevas redes neuronales y restablecer en lo posible el funcionamiento. Parece, pues, deseable la combinación de factores tróficos y experiencias en programas de intervención.

En suma, el empeño por reforzar, proteger y prolongar las funciones memorísticas del cerebro está en una fase todavía inicial, pero las perspectivas de avances sustanciales son halagüeñas. La cantidad de recursos destinados a la investigación y las estructuras y organizaciones que trabajan intensamente en este campo auguran descubrimientos y aplicaciones inminentes. Pero como en todos los aspectos relacionados con el cerebro, no hay que fiarlo todo al progreso. También el tipo de vida que se lleva, la calidad de actividad mental que se realiza, resulta decisivo para lograr el mejor funcionamiento de nuestros cerebros, así como, en concreto, la integridad de la memoria, el fundamento de nuestra identidad personal.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

A. Baddeley, M. W. Eysenck y M. C. Anderson. *Memoria*. Madrid, Alianza, 2010.

N. Carr. *Superficiales ¿Qué está haciendo internet con nuestras mentes?* Madrid, Taurus, 2011.

U. Eco. *Apocalípticos e integrados*. Barcelona, DeBolsillo, 2017.

J. Fuster. *Cerebro y libertad*. Barcelona, Ariel, 2014.

E. Goldberg. *El cerebro ejecutivo*. Barcelona, Crítica, 2001.

F. A. von Hayek. *El orden sensorial: Los fundamentos de la psicología*. Madrid, Unión editorial, 2011.

D. O. Hebb. *La organización de la conducta*. Barcelona, Debate, 1991.

E. Kandel, *En busca de la memoria*. Buenos Aires, Katz, 2007.

B. Kolb e I. Whishaw. *Neuropsicología humana*. Madrid, Médica Panamericana, 2006.

B. Kolb e I. Whishaw. *Cerebro y conducta*. Madrid, McGraw-Hill, 2002.

K. Lorenz, «El compañero en el mundo de las aves», *Journal of Ornithology* nº 83 (3) pp. 289-413, 1935 (https://doi.org/10.1007/BF01905572).

A. R. Luria. *Mirando hacia atrás*. Madrid, Norma, 1979.

A. Luria, *Pequeño libro de una gran memoria. La mente de un mnemonista*. Asturias, Krk Ediciones, 2012.

A. Luria, *El hombre con su mundo destrozado*. Argentina, Granica editor, 1973.

M. McLuhan. *Comprender los medios de comunicación: Las extensiones del ser humano*. Barcelona, Booket, 2009.

V. S. Ramachandran y S. Blakeslee. *Fantasmas en el cerebro. Los misterios de la mente al descubierto*. Madrid, Debate, 1999.

S. Ramón y Cajal. *Recuerdos de mi vida*. Barcelona, Crítica, 2006.

G. Rizzolatti y C. Sinigaglia. *Las neuronas espejo: Los mecanismos de la empatía emocional*. Barcelona, Ediciones Paidós, 2006.

O. Sacks, *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*. Barcelona, Anagrama, 2016.

B. Sparrow, J. Liu y D. Wegner. *678 monjas y un científico: historia del mayor hallazgo sobre la vejez y el Alzheimer*. Barcelona, Planeta, 2010.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Fuster, J., *Memory in the Cortex*, MIT Press, Cambridge, 1995.

Joaquín Fuster es un gran conocedor del córtex cerebral, además de ser uno de los primeros autores en explicar el nuevo paradigma de la memoria: sus tipos, funciones y bases en las redes neurales del cerebro.

Hebb, D, *La organización de la conducta*, Debate, Madrid, 1985.

Hebb centró su investigación en entender los mecanismos de la inteligencia y de la conducta a nivel biológico, y sus hallazgos —resumidos en su célebre frase «las neuronas que se disparan juntas, permanecerán conectadas»— le llevaron a establecer las bases neurales del aprendizaje y la memoria. Este libro, escrito en 1949, es todo un hito de la neurociencia.

Kandel, E., *En busca de la memoria: el nacimiento de una nueva ciencia de la mente*, Katz, Buenos Aires, 2007.

Obra monumental en la que Eric Kandel narra la experiencia personal y profesional que le llevó a conseguir el Premio Nobel por sus aportes relacionados con la neurobiología de la memoria y del aprendizaje, entendidas como dos caras de la misma moneda. En el libro confluyen la necesidad de uno de los grandes neurocientíficos de la historia por comprender el funcionamiento de la memoria y la voluntad de explicar la mente tanto en términos de biología celular como molecular.

Luria, A. R., *Pequeño libro de una gran memoria. La mente de un mnemonista*, Krk ediciones, Oviedo, 2009.

El asombro de Luria ante la inconmensurable memoria de Salomon Shereshevski, el hombre que percibía «el sabor de cada sonido» y «escuchaba voces amarillas», le llevó a escribir una de las investigaciones más profundas y mejor narradas de la literatura neurocientífica. La historia del paciente S., como se le conoce en el libro, el hombre que tuvo que adquirir el arte de olvidar para no resultar sepultado por sus recuerdos, fue publicada originalmente en 1968.

SOMOS NUESTRA MEMORIA

Recordar y olvidar

Somos nuestra memoria. Desde ella y gracias a ella, percibimos, nos movemos, pensamos, hablamos, nos emocionamos y sentimos, planificamos y proyectamos. Nuestra capacidad de recordar determina las decisiones que tomamos e incluso define nuestra identidad. Precisamente por su relevancia para nuestras existencias individuales, es necesario comprender su funcionamiento y naturaleza, desechar la concepción tradicional de la memoria como una especie de grabación precisa de acontecimientos o datos concretos y entenderla, en cambio, como un complejo y frágil proceso cerebral que construye, almacena y recupera recuerdos en constante evolución.

En el presente libro abordaremos a través de las investigaciones y los casos clínicos más relevantes los diversos sistemas de memoria que la complejidad multifacética de nuestra vida requiere, sus mecanismos subyacentes y las consecuencias de las alteraciones que pueden llegar a sufrir.